

# **Jyväskylän Tilapalvelun kiinteistöjen aurinkosähköpotentiaali**

## **Esiselvitys**

Teemu Virtanen

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2016  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Virtanen, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 19.1.2016
	Sivumäärä 44	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Jyväskylän Tilapalvelun kiinteistöjen aurinkosähköpotentiali</b> Esiselvitys		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen Vesa Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Tilapalvelu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Jyväskylän Tilapalvelulle, joka on Jyväskylän kaupungin omistama liikelaitos. Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada yleiskuva siitä, paljonko aurinkoenergialla voisi tuottaa sähköä Jyväskylän Tilapalvelun hallinnoimissa kiinteistöissä. Tarkemmassa tarkastelussa oli kiinteistöt, joille laskettiin suurimmat vuosituotot. Näillä kohteilla aurinkosähkön tuotantopotentiaalia verrattiin rakennuksen nykyiseen sähkönkulutukseen.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta koottiin aurinkoenergiaa koskevista julkaisuista. Laskentaan tarvittavat tiedot koottiin kiinteistöjen suuntaus- ja kattotiedoista, jotka kerättiin asema-kaavan ja ilmakuvien avulla. Tietojen avulla laskettiin aurinkosähköpaneelien asennusteho ja -kulmat. Sijainnin ja asennuskulmien perusteella laskettiin kiinteistökohtainen säteilyvoimakkuus. Laskennassa ei ole otettu huomioon rakennusten kattorakenteiden kantavuuksia. Työssä kehitettiin Excel-työkalu, jolla voidaan arvioida aurinkosähkön sopivuutta kiinteistöille.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksista ilmenee aurinkosähköjärjestelmien vuoden kokonaisenergian ja kautuminen rakennusten kesken sekä suurimman vuosituoton omaavien kohteiden suhteuttaminen sähkönkulutukseen. Opinnäytetyöhön käytetyn kiinteistölistauksen 330 kohteesta 259 kohdetta sai aurinkosähköarvion.</p> <p>Tuloksien perusteella havaitaan, että aurinkosähköllä ei voida kattaa täysin toimitilojen sähköntarvetta, mutta teknologian kehittyessä kesäkuukausien sähkö voidaan tuottaa aurinkovoimalla.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Aurinkoenergia, aurinkopaneelit, sähköntuotanto		
Muut tiedot		

Author(s) Virtanen, Teemu	Type of publication Bachelor's thesis	Date 19.1.2016
	Number of pages 44	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication <b>Photovoltaic potential of Jyväskylän Tilapalvelu properties</b> Preliminary report		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka Hytönen, Vesa		
Assigned by Jyväskylän Tilapalvelu		
<p>Description</p> <p>This thesis was written as an assignment for Jyväskylän Tilapalvelu, a municipal enterprise that is owned by the city of Jyväskylä. The main purpose of this thesis was to investigate the photovoltaic potential of the properties of Jyväskylän Tilapalvelu and calculate how much solar power could be generated. Real estates that had the biggest estimated yearly photovoltaic generation were analyzed and compared to the current electricity consumption of the building.</p> <p>The background information of this thesis is based on publications concerning solar power. Measurement data on alignment and roof information for the calculations were collected from aerial photos and city plan. The data were used to calculate the installation power and angles for solar panels, which resulted in the radiation intensity of the target received from sun. The carrying capacity of the roofs was not taken into account in the calculations. An Excel tool for estimating the suitability of photovoltaic systems for properties was developed in the thesis work.</p> <p>As a result, an overview and a division of total photovoltaic energy of the targets was achieved. Also real estates with biggest yearly photovoltaic generation put solar electricity into perspective with building current electricity consumption. The property listing included 330 building out of which 259 got solar power estimation.</p> <p>The results indicate that the generated photovoltaic electricity is not enough to cover the electric consumption of the large buildings. Although, in future with more efficient solar system, photovoltaic energy could get a much larger coverage of the buildings' yearly electric consumption.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) Solar energy, solar panels, production of electricity		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aurinkoenergia .....</b>	<b>4</b>
2.1	Aurinko ja saapuva säteily .....	4
2.2	Auringon säteily Euroopassa .....	5
2.3	Aurinkosähköpaneelien asennustehot Euroopassa .....	8
<b>3</b>	<b>Aurinkoenergian tekniset ratkaisut .....</b>	<b>10</b>
3.1	Aurinkokennot .....	10
3.1.1	Piikideteknologia .....	10
3.1.2	Ohutkalvoteknologia .....	11
3.1.3	Nanokideteknologia .....	12
3.1.4	Toimintaperiaate .....	13
3.2	Aurinkokeräimet .....	15
<b>4</b>	<b>Aurinkopaneelien asentaminen .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Kiinteistöjen tiedonkeruu .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Aurinkosähköpotentiaalin laskenta .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Aurinkosähkön tuottoja .....</b>	<b>26</b>
7.1	Yhteenveto .....	27
7.2	Säynätsalon koulu-päiväkoti .....	28
7.3	Kortepohjan päiväkot ja kirjasto .....	29
7.4	Cygnaeuksen koulukeskus .....	31
7.5	Korpilahden yhtenäiskoulu .....	32
7.6	Palokan terveysasema ja Kyllön terveysasema .....	33
<b>8</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>34</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>37</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>40</b>
	Liite 1. Kiinteistöjen vuosituotto, laskevassa järjestyksessä .....	40

## Kuviot

Kuvio 1. Auringon säteilyteho Euroopassa optimaalisella asennuskulmalla .....	6
---	---

Kuvio 2. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa optimaalisella asennuskulmalla	7
Kuvio 3. Monikiteinen ja yksikiteinen kenno .....	11
Kuvio 4. PN-liitoksien aurinkokennon toimintaperiaate .....	14
Kuvio 5. Auringon säteilyspektri ja piikennon toiminta-alue .....	15
Kuvio 6. Aurinkokeräimen energiavirrat .....	16
Kuvio 7. Tasokeräin .....	17
Kuvio 8. Tyhjiöputkikeräin .....	17
Kuvio 9. Kallistuskulman vaikutus vuoden kokonaissäteily määrälle Jyväskylässä eteläsuuntauksella .....	19
Kuvio 10. Asennusetäisyys tasakatoille .....	19
Kuvio 11. Yksi- ja kaksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä .....	21
Kuvio 12. PVGIS-aurinkosähkölaskuri vuosituottojen laskentaan .....	23
Kuvio 13. Aurinkosähkön vuosituoton jakautuminen lasketuille kohteille, 259 kpl....	27
Kuvio 14. Vuosituoton jakautuminen kaupunginosittain .....	28
Kuvio 15. Säynäsalon koulu-päiväkodin kuukausikulutus ja aurinkosähkön arvioitu tuotto.....	29
Kuvio 16. Kortepohjan päiväkodin ja kirjaston kuukausikulutus sekä aurinkosähkön arvioitu tuotto .....	30
Kuvio 17. . Kortepohjan päiväkodin ja kirjaston kuukausittainen päiväkulutus (klo 7–22), sekä aurinkosähkön arvioitu tuotto .....	31
Kuvio 18. Cygnaeuksen koulukeskuksen tuottopotentiali jaoteltuna sähköenergian suuntauksien ja aikajaksojen mukaan.....	32
Kuvio 19. Korpilahden yhtenäiskoulun tuottopotentiali ja kuukausikulutukset.....	33
Kuvio 20. Palokan terveysaseman sähköntuotto ja -kulutus .....	34
Kuvio 21. Kyllön terveysaseman sähköntuotto ja -kulutus .....	34

## Taulukot

Taulukko 1. Säteilyteho Jyväskylässä eri lähteiden mukaan .....	8
Taulukko 2. Euroopan Unionissa asennettujen aurinkosähköjärjestelmien tehot ja tuotanto.....	9

# 1 Johdanto

Nykyisen kulutusyhteiskunnan kasvun myötä maapallon energiankulutus on ollut jatkuvassa nousussa. Fossiilisten polttoaineiden varastot tyhjenevät yhä nopeammin ja ilmanlaatu heikkenee, jos energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian kehitykseen ei panosteta riittävästi. Tällä hetkellä EU:n energia- ja ilmastostrategian 2020-paketin tavoitteiden myötä asumisen energiankulutus on jo kääntynyt Suomessa pieneen laskuun.

Uusiutuvan energian tuotannossa aurinkovoiman osuus on käännekohdassa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana paneeliteknologian kehitys ja tuotannon suuri kasvu ovat laskeneet kustannuksia huomattavasti. Hankintahintojen halventuminen tekee aurinkoenergiasta kannattavan vaihtoehdon sähkön pientuotantoon mökeille ja omakotitaloille. Kesäisin aurinkosähköllä saadaan vähennettyä ostosähkön määrää ja esimerkiksi ilmastonoinnin käyttökuluja.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Jyväskylän Tilapalvelu, joka on Jyväskylän kaupungin omistama liikelaitos. Tilapalvelu vastaa hallussaan olevien kiinteistöjen arvosta, tuottavuudesta ja tehokkaasta käytöstä. Jotta tehokkuus paranisi, opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Tilapalvelun 330 kiinteistölle aurinkosähkön kokonaispotentiaali. Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa Tilapalvelun projekteissa.

Päätehtävänä oli laskea Tilapalvelun kiinteistöille aurinkosähkön vuosituotto. Muina tehtävinä oli tunnistaa ne rakennukset, joille aurinkosähköjärjestelmä sopisi sekä arvioida niille hyödynnettävissä oleva kattopinta-ala. Tarkempaan tarkasteluun valikoitui suuren vuosituoton antavista kohteista optimaaliselta vaikuttavat kiinteistöt. Valituille kiinteistöille tehtiin sähköenergian vertailu, jossa laskettuja aurinkosähkön tuottoja verrattiin rakennuksen vuoden 2014 sähkönkulutukseen. Tarvittavat kulu-  
tustiedot haettiin Energiakolmion energiahallintajärjestelmästä, EnerKey'stä.

Aluksi keräsin asemakaavoista ja ilmakuvista tietoja kiinteistöjen sijainneista ja siitä, miten kiinteistö oli sopiva aurinkopaneeleille. Jos kohde oli sopiva aurinkopaneeleille,

niin merkitsin talteen rakennuksen suuntauksen, kattotyypin ja asennukselle sopivan kattopinta-alan. Näillä tiedoilla määritin aurinkosähköjärjestelmälle asennustehot ja -kulmat. Paneelien suuntauksen ja asennuskulman avulla laskin pinnalle osuvan vuoden kokonaistehon.

## 2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on suoraan Auringon säteilystä hyödynnettävää energiaa useisiin tarpeisiin. Nykyään sillä tuotetaan aurinkolämpöä, -sähköä ja -polttoainetta, joiden tehokas käyttö voi olla merkittävässä roolissa haettaessa ratkaisua ilmastonmuutokseen, energiahuoltovarmuuteen ja energiaverkojen laajentumiseen.

Aurinkoenergia on käytännössä loppumaton uusiutuva energianlähde, joka on päästötön ja edullinen käyttökustannuksiltaan. Sen saatavuus on suurinta lämpimissä ja aurinkoisissa maissa, joissa tulevana vuosikymmeninä energian kulutus lisääntyy elintason ja väestömäärän kasvun takia. Näillä alueilla sähkön tuotanto aurinkopaneelilla ja -voimalaitoksilla alkaa olla kilpailukykyinen vaihtoehto korvaamaan öljykattilat sähkönkulutuspiikkien kattamiseen. (Solar Energy Perspectives 2011, 19.)

### 2.1 Aurinko ja saapuva säteily

Maahan verrattuna Aurinko on 333 000 kertaa painavampi ja 1,3 miljoonaa kertaa suurempi. Auringon ytimessä vety fuusioituu heliumiksi  $2,477 \times 10^{11}$  baarin paineessa ja  $1,571 \times 10^7$  Kelvinin lämpötilassa, mistä syntyy  $384,6 \times 10^{24}$  W:n säteilyteho. (Sun Fact Sheet 2015.) Tästä säteilystä vain hyvin pieni osa osuu 150 miljoonan kilometrin päässä olevalle Maa-planeetalle.

Juuri ennen Maan ilmakehään saapumista säteilyn teho on noin  $1366 \text{ W/m}^2$ . Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi (solar constant). Maan pinnalle osuessaan osa sätei-

lystä muuttaa suuntaa ilmakehän vaikutuksesta, joten tehoa on vähemmän saatavilla. Selkeissä olosuhteissa kohtisuora säteily on noin  $1000 \text{ W/m}^2$ . Kaikkialle säteily ei kuitenkaan tule samanlaisena Maan pyörimisestä ja pyöreystä johtuen, joten vuoden keskiarvo on neljännes aurinkovakiosta eli  $342 \text{ W/m}^2$ . Tästä  $77 \text{ W/m}^2$  heijastuu takaisin avaruuteen pilvien ja ilmakehän vaikutuksesta ja  $67 \text{ W/m}^2$  absorboituu ilmakehään. Loput  $198 \text{ W/m}^2$  (n. 57 %) saavuttaa maanpinnan. Puolentoista tunnin ajan kestävä säteily Maahan sisältää yhtä paljon energiaa kuin ihmiskunta kuluttaa vuodessa. (Solar Energy Perspectives 2011, 31.)

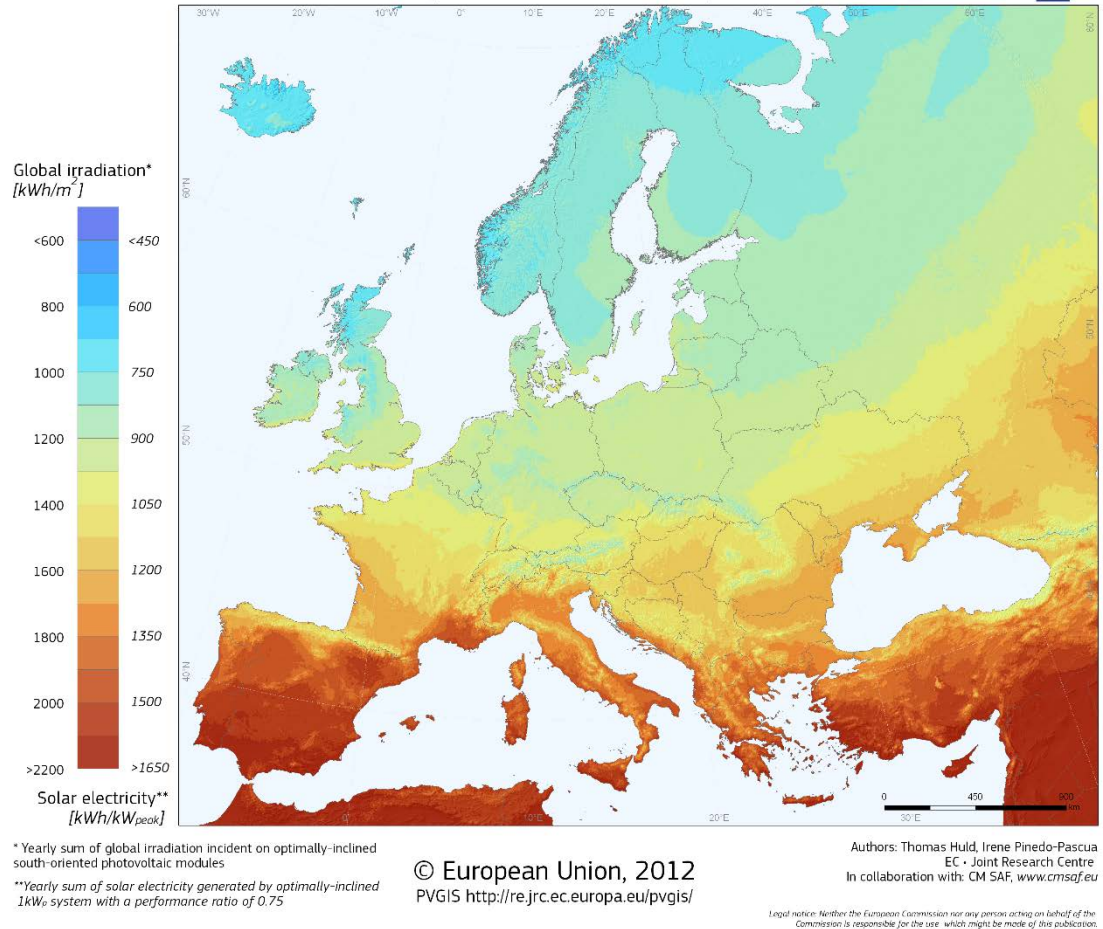
Maan pinnalle osuva kokonaissäteily koostuu kahdesta osasta, jotka ovat suora säteily ja hajasäteily. Suora säteily luo varjoja, joita hajasäteily ei luo. Ajoittain suora säteily koetaan auringonpaisteena eli kirkkaan valon ja lämpösäteilyn yhdistelmänä. Pilvistä ja ilmakehästä heijastuva hajasäteily taas koetaan päivänvalona. Hajasäteilyä on myös maasta heijastunut säteily, jota aurinkoenergiaa käyttävät laitteet voivat hyödyntää. (Mts. 31.)

## 2.2 Auringon säteily Euroopassa

Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen (YTK) energia-alan tutkimuslaitoksen tietokannan luomasta kartasta voi nähdä optimaaliseen kulmaan asennetuille aurinkopaneeleille osuvan vuotuisen kokonaissäteilyn potentiaalin ( $\text{kWh/m}^2$ ). Kuviosta 1 voi huomata, kuinka Euroopan pohjoisen sijainnin vuoksi säteilymäärät vähenevät napapiiriä lähestyttäessä Välimeren alueen reilun  $2000 \text{ kWh/m}^2$  lukemista Pohjoismaiden vajaan  $1000 \text{ kWh/m}^2$  lukemiin. Kun verrataan Suomea muuhun Eurooppaan vuoden kokonaissäteilyssä, niin länsirannikolla ja Etelä-Suomessa säteily on melkein samaa luokkaa (noin  $1200 \text{ kWh/m}^2$ ) kuin Keski-Euroopan pohjoisosissa. (Huld, Müller & Gambardella 2012.)

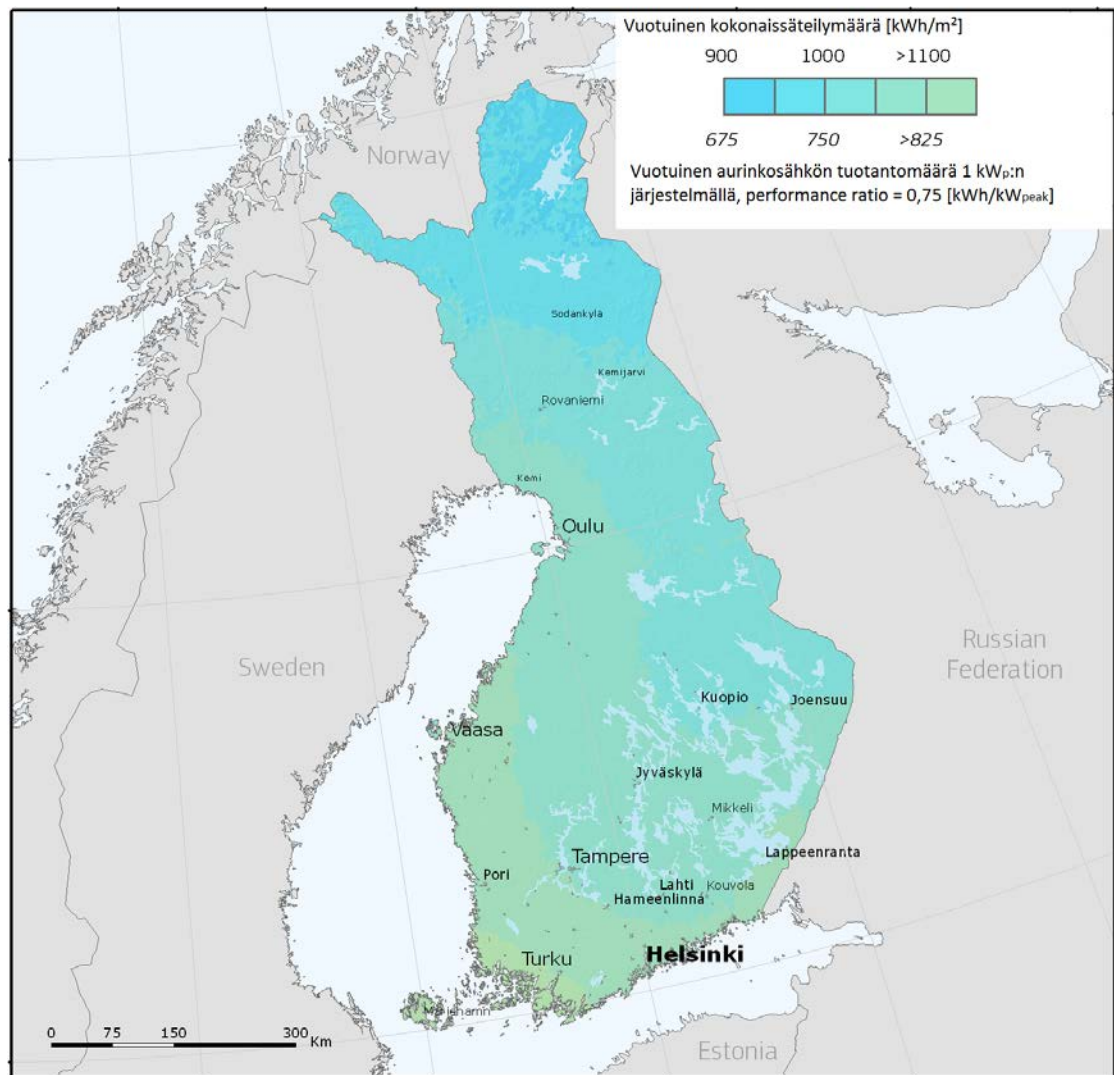


## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Kuvio 1. Auringon säteilyteho Euroopassa optimaalisella asennuskulmalla (Huld, Müller & Gambardella 2012)

Kuviosta 2 ilmenee että Suomessa kokonaissäteily on 900 - 1200 kWh/m<sup>2</sup>. Jyväskylässä optimikulmaan asennettu aurinkopaneeli vastaanottaisi säteilytehoa vuodessa noin 1050 kWh/m<sup>2</sup>, joka on maan keskiarvoa. Aurinkopaneelille käyttökelpoinen valoisa aika alkaa maaliskuusta ja jatkuu lokakuun lopulle. Suurimmat säteilymäärät ajoittuvat huhtikuun lopulta heinäkuun lopulle.



Kuvio 2. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa optimaalisella asennuskulmalla (alkup. kuvio. Huld, Müller & Gambardella 2012)

Jyväskylään osuvasta säteilyvoimakkuudesta löytyi monia käyttökelpoisia tietolähteitä: VTT:n taulukko säteilyenergioista vaakasuoralle pinnalle, YTK:n interaktiivinen kartta ja Nenäinniemen sääaseman tilastot, joiden tietoja on verrattu taulukossa 1. Näistä kolmesta VTT antoi suurimman arvion vuotuiselle säteilylle, mutta myös YTK:n luvut ovat hyvin lähellä niitä. Nenäinniemen sääaseman luvut ovat keskiarvoja viiden viime vuoden ajalta. Säteilytehot ovat siinä reilun kymmenyksen pienempiä. Opinnäytetyössä hyödynnettiin YTK:n tarjoaman Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) -tietokannan tuloksia sen ohessa olevan laskurin vuoksi. Se huomioi tarkemmin sijainnin vaikutuksen sekä paneelien suuntauksen ja kallistuksen laskennassaan.

Taulukko 1. Säteilyteho Jyväskylässä eri lähteiden mukaan (Tiedot: Heimonen, Kur-nitski, Kalliomäki 2011, Taulukko 3; Huld ym 2012; Vuosiraportit 2015)

	VTT Aurinko-opas 2012	PVGIS	Sääasema Jyväskylä, Nenäinniemi
	kWh/m <sup>2</sup> ,kk	kWh/m <sup>2</sup> ,kk	kWh/m <sup>2</sup> ,kk
Tammikuu	5	5,93	2,6
Helmikuu	20	22,9	13,7
Maaliskuu	52	58,3	55,7
Huhtikuu	103	110	91,9
Toukokuu	171	156	137,5
Kesäkuu	159	159	138,9
Heinäkuu	158	159	144,7
Elokuu	114	109	107,4
Syyskuu	71	59	53,6
Lokakuu	25	26	20,9
Marraskuu	7	7,5	4,6
Joulukuu	3	2,84	1,6
<b>Yhteensä</b>	<b>888</b>	<b>875,47</b>	<b>773,1</b>

## 2.3 Aurinkosähköpaneelien asennustehot Euroopassa

Maailmanlaajuisesti aurinkosähkön käyttö jatkaa kasvamistaan. Vuosien 2013 ja 2014 välillä aurinkosähköjärjestelmien asennetussa huipputehossa [ $W_p$ , watt-peak] on tapahtunut nousua 37,6 gigawatista melkein 40 gigawattiin. Toisaalta Euroopan unionin markkinoilla on tapahtunut hiipumista kasvussa vuoden 2011 luvuista. Silloin järjestelmiä asennettiin 22  $GW_p$  ja 2014 kasvua oli enää vajaa 6,9  $GW_p$ . (Photovoltaic barometer 2015, 2–4.)

Taulukossa 2 EU:n maat on järjestetty asennettujen aurinkosähköjärjestelmien yhteistehon mukaan. Tällä hetkellä 11 maata on ylittänyt 1  $GW_p$ :n rajan. Niistä Saksa ja Italia ovat selvästi suurimpia tuottaen keskenään yli puolet koko EU:n aurinkosähköstä. Järjestelmien kokoon suhteutettuna Espanja ja Italia tuottavat parhaiten suu-remman kokonaissäteilyenergian takia (Mts. 8–10.)

Taulukko 2. Euroopan Unionissa asennettujen aurinkosähköjärjestelmien tehot ja tuotanto (Photovoltaic barometer 2015, muokattu)

	On-grid (MWp)	Off-grid (MWp)	Yhteensä (MWp)	Tuotanto 2013 (GWh)	Tuotanto 2014 (GWh)
Saksa	38 236,0	65,0	38 301,0	31 010,0	34 930,0
Italia	18 437,0	13,0	18 450,0	21 588,6	23 299,0
Ranska	5 589,2	10,8	5 600,0	4 660,6	5 500,0
Iso-Britannia	5 228,0	2,3	5 230,3	2 035,6	3 931,0
Espanja	4 761,8	25,5	4 787,3	8 297,0	8 211,0
Belgia	3 105,2	0,1	3 105,3	2 640,0	2 768,0
Kreikka	2 595,8	7,0	2 602,8	3 648,0	3 856,0
Tseki	2 060,6	0,4	2 061,0	2 032,6	2 121,7
Romania	1 292,6	0,0	1 292,6	420,0	1 355,2
Alankomaat	1 095,0	5,0	1 100,0	516,0	800,0
Bulgaria	1 019,7	0,7	1 020,4	1 361,0	1 244,5
Itävalta	766,0	4,5	770,5	582,2	766,0
Tanska	600,0	1,5	601,5	517,5	557,0
Slovakia	590,0	0,1	590,1	588,0	590,0
Portugali	414,0	5,0	419,0	479,0	631,0
Slovenia	255,9	0,1	256,0	219,5	244,6
Luxemburg	110,0	0,0	110,0	74,0	120,0
Ruotsi	69,9	9,5	79,4	35,0	71,5
Liettua	68,0	0,1	68,1	45,0	73,0
Kypros	63,6	1,1	64,7	56,0	104,0
Malta	54,2	0,0	54,2	31,0	57,8
Unkari	37,5	0,7	38,2	25,0	26,8
Kroatia	33,5	0,7	34,2	11,3	35,3
Puola	21,5	2,9	24,4	4,0	19,2
Suomi	0,2	10,0	10,2	5,9	5,9
Latvia	1,5	0,0	1,5	0,0	0,0
Irlanti	0,2	0,9	1,1	0,7	0,7
Viro	0,0	0,1	0,1	0,6	0,6
Euroopan Unioni	86 506,8	167,1	86 673,9	80 884,0	91 319,7

Suomessa aurinkopaneeleja on asennettu arviolta 10–20 MW<sub>p</sub>. Suurimpia yksittäisiä kohteita ovat Sanomalehti Kalevan (420 kW<sub>p</sub>), Helen Oy:n (340 kW<sub>p</sub>) ja Astrum-liikekeskuksen (322 kW<sub>p</sub>) omistamat aurinkosähkövoimalat. Verkkoon kytkemättömät aurinkosähköjärjestelmät ovat yleisiä mökkikäytössä, jossa tuotettu energia varastoidaan akkuihin kulutusta odottamaan. Jos paneelijärjestelmä liitetään verkkoyhtiön suostumuksella yleiseen sähköverkkoon, se kytketään VDE-AR-N-4105-suojausstandardin mukaisella verkkoinvertterillä. Verkkoon kytketystä järjestelmästä, joka tuottaa yli kulutuksen, voidaan ylimääräinen sähkö myydä sähköyhtiölle.

### 3 Aurinkoenergian tekniset ratkaisut

Aurinkoenergiaa voidaan tuottaa monessa eri muodossa ja usealla menetelmällä. Suurin ja tunnetuin on aurinkosähkö, jota tuotetaan yleisimmin aurinkopaneeleilla. Suurempia määriä sähköä ja lämpöä tuotetaan keskittävillä aurinkovoimalaitoksilla heijastavien peilien ja satelliittien avulla. (Solar Energy Perspectives 2011, 111,141.)

Aurinkolämmön tuotanto tapahtuu joko aktiivisesti tai passiivisesti. Jälkimmäisessä säteilyä hyödynnetään rakennusten ikkunoilla ja lämpöä varastoivilla rakenteilla. Aktiivisella tuotannolla lämpöä hyödynnetään käyttöveden ja tilojen lämmitykseen sekä jossain vaiheessa jäähdytykseen. (Mts. 123–125.)

Maailmalta löytyy myös aurinkopolttoaineiden valmistusta, mutta seuraavissa luvuissa keskitytään yleisimpiin kiinteistökohtaisiin ratkaisuihin.

#### 3.1 Aurinkokennot

Aurinkosähkön kehityksessä aurinkokennoteknologiat ovat jakautuneet useisiin sukupolviin. Teknologiat ovat saavuttaneet käyttövarmuutta eri tasoilla, mutta kaikkien kohdalla on vielä potentiaalia hyötysuhteen parantamisessa. Jatkuva kehitys ja keilu mahdollistavat tulevaisuudessa tuotantokustannusten laskemisen ja tuotannon painottumisen seuraavan sukupolven teknologioiden kohdalle.

##### 3.1.1 Piikideteknologia

Aurinkokennojen yleisimmäksi pääraaka-aineeksi on valikoitunut pii, jonka käyttö ja kehitys puolijohdemateriaalien pohjaksi juontaa juurensa 1950-luvulle. Piipohjaisia kennoja valmistetaan joko yksikiteisestä piistä (crystalline silicon, c-Si) tai monikiteisestä piistä (multicrystalline silicon, mc-Si). Yksikiteisten kennojen hyötysuhde on

parhaimmillaan noin 25 %, mutta valmistaminen on vaativaa, sillä ne leikataan siivuina pyöreistä piisauvoista. Tämän seurauksena kennon kulmiin jää tyhjää tilaa. Monikiteinen piikkenno on halvempaa valmistaa, koska sen valmistusprosessissa pii sulatetaan muotoonsa. Näiden kennojen hyötysuhde on parhaimmillaan noin 20 %. Kiteiden rajapintojen välisiä hilavirheitä esiintyy huomattavasti enemmän monikiteisessä piissä, mikä heikentää kennon toimintaa. (Aurinkosähköteknologiat n.d.) Kuviossa 3 monikiteisen kennon kiderakenne erottuu yksikiteiseen kennoon verrattuna.

Opinnäytetyössä käytettiin aurinkosähköjärjestelmien mitoituksessa yksikiteistä piikkennoa. Paneelijärjestelmien asennustehon määrittämisessä yksikiteisen piikennon huipputehokerroin oli  $0,16 \text{ kW/m}^2$ , mikä vastaa tyypillisimpiä markkinoilla olevia aurinkopaneeleja.



Kuvio 3. Monikiteinen ja yksikiteinen kenno (alkup. kuvat. Berg 2006; Micallef 2006)

### 3.1.2 Ohutkalvoteknologia

Ohutkalvokennot on aurinkokennojen toinen sukupolvi. Niiden valmistus on automatisoitua ja tuotantomäärät ovat suuria, mikä laskee valmistuskustannuksia. Ohutkalvoteknologiassa puolijohdemateriaalia levitetään mikrometrien paksuiseksi kerrokseksi, joten tarvittava raaka-aineiden määrä on pienempi kuin piipohjaisilla kennoilla. Piipohjaisiin kennoihin verrattuna paneelien elinikä on yhtä pitkä, mutta hyö-



tysuhde on heikompi. Materiaalin valinnalla on vaikutus hyötysuhteeseen, mutta piitömillä kennoilla on etuna lämpötilan sietokyky. Korkeat käyttölämpötilat eivät heikennä paneelin hyötysuhdetta. Käytetyimmät puolijohteet ovat kadmium-telluuri (CdTe,  $\eta = 11\%$ ), kupari-indium-diselenidi ja kupari-indium-gallium-diselenidi (CIS ja CIGS,  $\eta = 7\text{--}12\%$ ), sekä ilman kiderakennetta oleva amorfinen pii (a-Si,  $\eta = 4\text{--}8\%$ ). Amorfisen piin ohutkalvokennot heikkenevät auringon valossa, mutta useampia a-Si kerroksia lisäämällä kennosta tulee vakaampi ja hyötysuhde on noin 10 %. Ohutkalvoisten paneelien valmistaminen mahdollistaa taipuvat kennot, sekä suuren valikoidun muodoista, ko'oista ja väreistä – etenkin CIGS-kennoilla. Muuntautumiskyky auttaa uusien kohteiden kehityksessä ja paneelien integroinnissa rakennuksiin. (Solar Energy Perspectives 2011, 115.)

Kadmium-telluuri-paneelit ovat lupaavin vaihtoehto ohutkalvokennoista alhaisen valmistuskustannusten vuoksi, vaikkakin kadmium luokitellaan ympäristölle vaaralliseksi raskasmetalliksi. Paneelien kierrätyksessä 95 % kadmiumista ja telluurista saadaan kerättyä talteen. CdTe-paneelit hyödyntävät kadmiumia sähköön johtamisessa jopa 2500 kertaa tehokkaammin kuin nikkeli-kadmium-akut. Elinikänsä ajan CdTe-paneelit aiheuttavat kadmiumpäästöjä noin 0,2-0,9  $\mu\text{g/kWh}$ , josta suurin osa voi syntyä valmistusprosessin sähkönkulutuksesta. Jos tarvittava sähkö tuotetaan kivihiilellä, niin kadmiumia vapautuu ilmakehään 3,1  $\mu\text{g/kWh}$ . (Mts. 115)

### 3.1.3 Nanokideteknologia

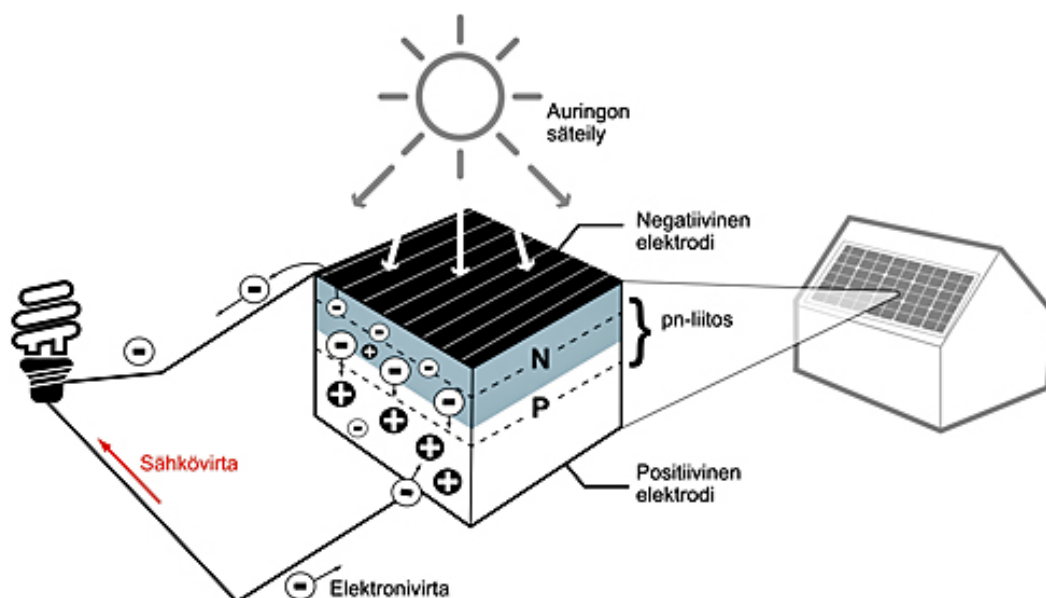
Aurinkopaneelien kolmannen sukupolven lupaavin vaihtoehto on nanokideteknologiaan pohjautuva väriaineherkistetty aurinkokenno (DSC, dye-sensitized solar cell). Perinteisiin PN-liitoksen omaaviin kennoihin verrattuna säteilyn absorptio ja varauksen kuljetus on erotettu eri materiaaleille. Väriainekerroksen molekyylit varautuvat säteilystä ja luovuttavat elektronin titaanioksidiin, joka hoitaa varauksen kuljetuksen. Väriaineen alkuperäinen tila palautuu nestemäisen elektrolyytin luovuttaessa sille elektronin. (Grätzel 2003, 145–153.)

Nanokiteiset väriaineet kykenevät hyödyntämään suuremman alan valon spektristä, joten hyötysuhde on parempi. Toisena etuna on lämpötilamuutosten sieto. Esimerkiksi lämpötilan kohoaminen 20 celsiusasteesta 60 celsiusasteeseen ei aiheuttanut väriaineherkistetyssä aurinkokennossa hyötysuhteen muutosta, kun perinteiseen piikennoon verrattuna sama lämpötilamuutos aiheuttaa 20 %:n pudotuksen. (Mts.)

### 3.1.4 Toimintaperiaate

Aurinkokennot toimivat valosähköisen ilmiön reaktiolla, jossa kennojen puolijohdemateriaalit vapauttavat elektroneja auringonsäteilyn fotonien osuessa niihin. Tyypilliset kennot muodostuvat kahdesta kerrostetusta puolijohdemateriaalista, P-tyypistä jolla on vähemmän elektroneja sisältävää alkuainetta lisättynä ja N-tyypistä jolla on enemmän elektroneja sisältävää alkuainetta lisättynä. Kuviossa 4 on havainnollistettu aurinkokennon toimintaperiaate, jossa PN-liitoksen välillä valosähköisen ilmiön luoma elektronien liike negatiiviseen elektrodiin jättää aukkoja positiiviseen elektrodiin. Rajapinnalle muodostuneen sähkökentän takia elektronien on kuljettava ulkoisen johtimen kautta takaisin positiiviselle elektrodille yhdistyäkseen sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Säteilyn määrästä riippuen PN-liitoksen eri puolilla on jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat, joten liitos toimii jännitelähteenä. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010, 1.)

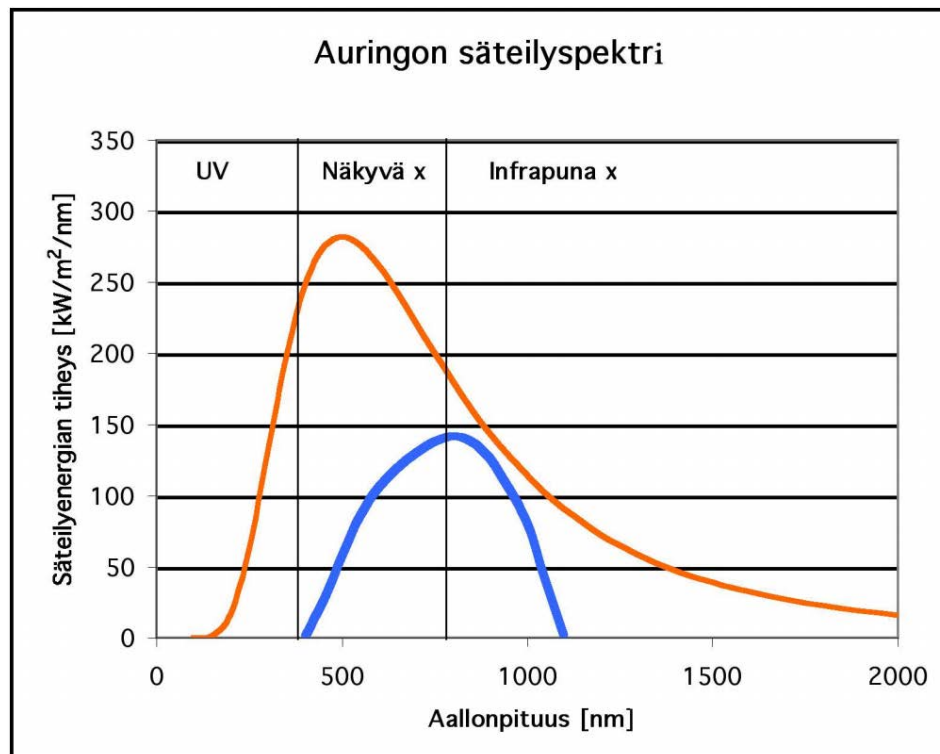




Kuvio 4. PN-liitoksisen aurinkokennon toimintaperiaate (Aurinkosähköteknologiat 2014)

Kiderakenteisessa aurinkopaneelissa jokainen yksittäinen kenno tuottaa 0,5 - 0,6 voltin tyhjäkäyntijännitteen, joten esimerkiksi 12 volttijärjestelmissä käytetään yleensä sarjaan kytkettynä 36-kennoisia paneeleja. Kennoista saatava sähkövirta riippuu kennon pinta-alasta ja säteilyn voimakkuudesta. Selkeällä säällä kennot tuottavat noin  $32 \text{ mA/cm}^2$ . Paneelien kehittyessä jännitetasot kasvavat, mikä samalla vähentää siirrossa syntyviä johdinhäviöitä. (Mts. 2.)

Piipohjaisten aurinkokennojen toiminta-alue on esitetty kuviossa 5, jossa toiminta-alue ulottuu näkyvän valon alueen läpi lyhytaaltoiselle infrapunasäteilylle (1150 nm). Yli 1150 nm:n säteily ei saa piipohjaisissa puolijohdeissa aikaan elektronien liikettä, vaan ainoastaan paneelin lämpiämistä. Ultraviolettivalon säteilyllä on paneelien toimintaikää lyhentävä vaikutus. (Mts. 2.)

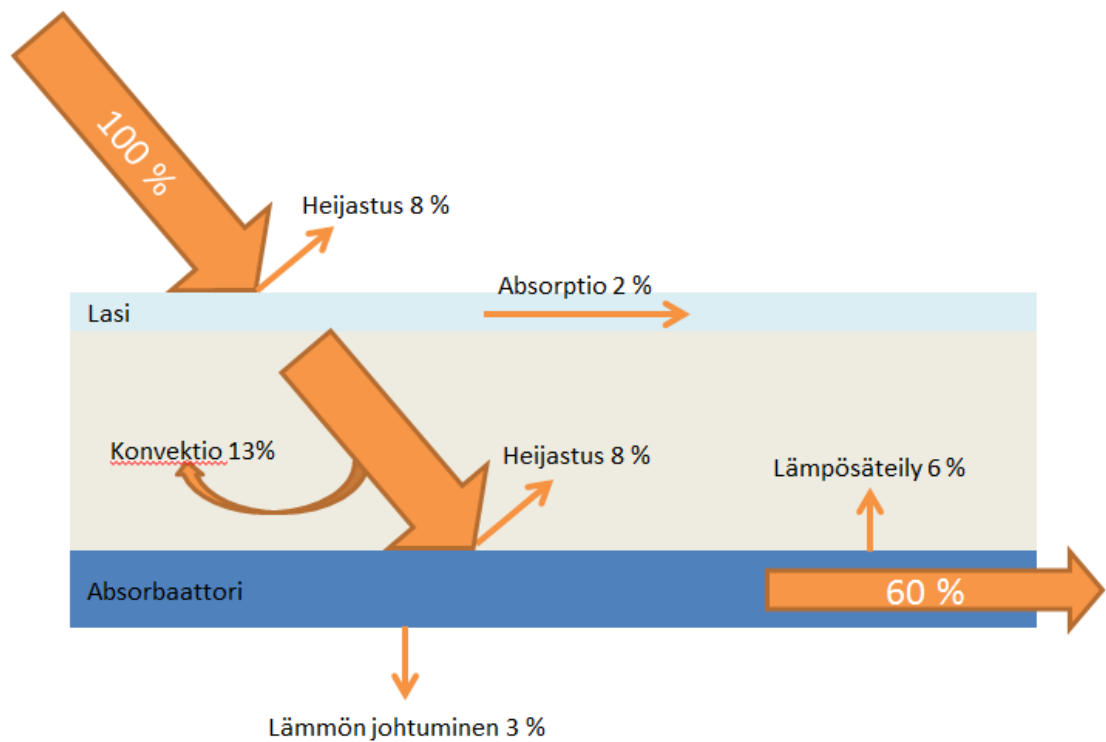


Kuvio 5. Auringon säteily spektri ja piikennon toiminta-alue (sininen käyrä) (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2010)

Aurinkopaneelin huipputeho  $W_p$  [Watt-peak] määritellään standardin mukaisissa laboratorio-olosuhteissa lämpötilassa  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$  säteilylähteen tehon ollessa  $1000\text{ W/m}^2$  ilmamassan viitteellisellä spektrillä  $AM = 1,5$ . Hyötysuhde saadaan huipputehon ja säteilytehon osamäärästä.

### 3.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimillä tuotetaan aurinkolämpöä. Tätä käytetään pääasiallisesti lämpimän käyttöveden mutta myös huoneiden lämmitykseen. Kuviossa 6 on havainnollistettu aurinkokeräimelle saapuvien energiavirtojen jakautumista.



Kuvio 6. Aurinkokeräimen energiavirrat (Solar Energy Perspectives 2011, 125, muokattu)

Tyypillisessä tasokeräimessä absorptiolevyt varastoivat auringon säteilyn ja johtavat lämmön levyihin kiinnitettyihin kupariputkiin. Putkissa lämmennyt vesi-glykoli-seos pumpataan lämmönvaraajaan ja lämmönvaihtimen kautta lämpimään käyttöveteen. (Aurinkokeräimet 2015.) Tyhjiöputkiin perustuvalla keräimellä hyödynnetään auringon hajasäteilyä, joten lämmityskaudesta saadaan pidempi. Pystyyn asennetut

keräimet tuovat alkukevään matalalla paistavasta auringosta lämpöä, silloin kun lämmityksen tarve on korkeampi. (Tyhjiöputkikeräimet 2015.)

Tasokeräimen (kuvio 7) kupariputkissa lämmennyt neste kiertää erillisen lämmönvaihtimen kautta. Tyhjiöputkikeräimen (kuvio 8) lämpöputkissa kaasuuntuva neste kohoaa keräimen yläosaan, jossa lämpö siirtyy kiertävään nesteeseen.



Kuvio 7. Tasokeräin (Solar Panels, Santorini 2013)



Kuvio 8. Tyhjiöputkikeräin (Boe, R. 2007.)

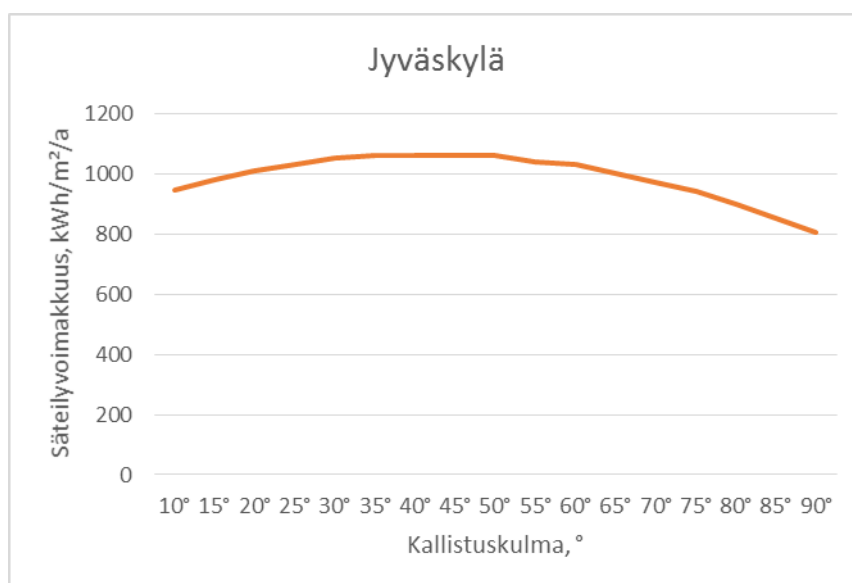
Aurinkolämpöjärjestelmät ovat tehokas lisäys talouksiin, joissa on jo valmiina esimerkiksi puulla tai hakkeella lämpiävä vesivaraaja. Lattialämmitysjärjestelmillä saadaan enemmän energiaa aurinkolämmöstä, koska kiertävän nesteen lämpötila on matalampi kuin patterilämmitysjärjestelmällä. Yleisesti voidaan sanoa, että puolet

omakotitalon vuotuisesta lämpimästä käyttövedestä saadaan lämmitettyä 5-8 m<sup>2</sup>:n keräimillä.

## 4 Aurinkopaneelien asentaminen

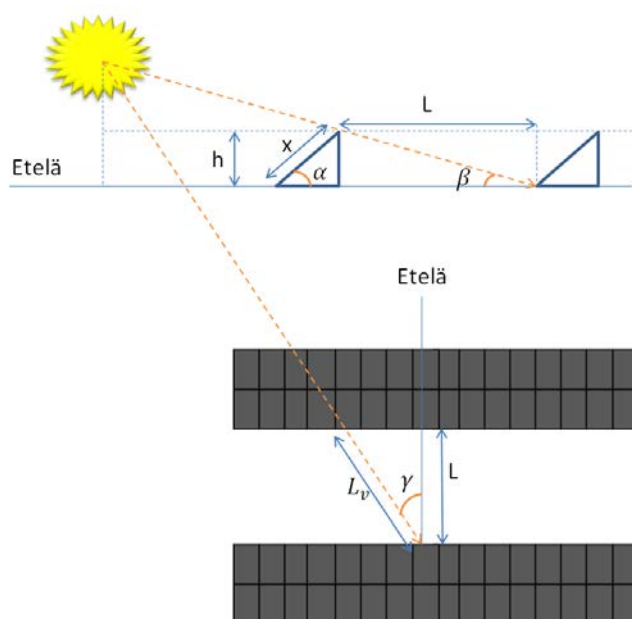
Aurinkosähköjärjestelmiä asennettaessa parhaimpaan vuosituotantoon päästään, kun paneelit asennetaan esteettömästi etelän suuntaisesti ja noin 45 asteen kulmaan. Pienet poikkeamat suuntaamisessa eivät vähennä vuoden tuotantoa kuin muutaman prosentin, mutta lounas-kaakko-suunnan ylittyessä häviö alkaa olla kymmeniä prosentteja. Poikkeavat suuntaukset ovat ymmärrettäviä, jos tuotanto halutaan kohdistaa jollekin päivän aikana tapahtuvalle kulutuspiikille. Esimerkiksi jos sähkönkulutus on säännöllisesti korkeaa aamupäivisin, niin idän suuntaan kallistamalla aurinkopaneelien sähköntuotto aikaistuu. (Aurinkopaneelien asentaminen 2014)

Paneelien optimaalinen kallistuskulma on noin 45 astetta vaakatasoon nähden. Kulman muuttuminen vähentää jonkin verran vuoden kokonaisenergian saantia. Esimerkiksi 30°:n ja 60°:n kulmilla on noin 5 % pienempi tuotanto kuin 45°:n kulmalla. Kuviossa 9 on esitetty eri asennuskulmien vaikutusta Jyväskylässä vuosituotannon käyrään. Pieneen kulmaan asennettu paneeli tekee kesällä suuren piikin. Yli optimin oleva pystympi kallistuskulma tuottaa aurinkosähköä tasaisemmin keväästä syksyyn saakka, joihin myös vuoden kausihuiput sijoittuvat. (Mt.)



Kuvio 9. Kallistuskulman vaikutus vuoden kokonaissäteilymäärälle Jyväskylässä eteläsuuntauksella (Huld ym 2012)

Tasakatoille asennettaessa on huomioitava paneelirivien välinen etäisyys, jotta edessä oleva rivistö tuottaisi mahdollisimman vähän varjostusta. Kuviossa 10 on selkeytetty, kuinka trigonometrian avulla voidaan laskea kulmaan asennetuille paneeleille tarvittava asennusväli yhtälöillä 1, 2 ja 3. (Calculating tilted array spacing n.d.)



Kuvio 10. Asennusetäisyys tasakatoille (alkup. kuvio. Calculating tilted array spacing n.d.)

$$h = x * \sin(\alpha) \quad (1)$$

missä

$h$  on asennetun paneelin korkeus, m

$x$  on paneelin pituus, m

$\alpha$  on paneelin asennuskulma, °

$$L_v = \frac{h}{\tan(\beta)} \quad (2)$$

missä

$L_v$  on varjon pituus aamupäivällä, m

$\beta$  on auringon elevaatio, °

$$L = L_v * \cos(\gamma) \quad (3)$$

missä

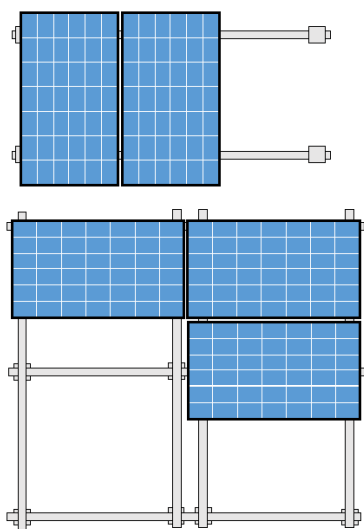
$L$  on tarvittava asennusväli, m

$\gamma$  on kulmaero auringon atsimuutilla ja eteläsuuntimalla (180°), °

Mitoitusta tehdessä valitaan ajanjakso, jolloin halutaan tehokasta tuotantoa. Suomen pohjoisen sijainnin takia talvikuukausien tuotto on vähäistä. Kevät- ja syyspäivätasauksien välinen aika on sopiva valinta, koska päivät ovat pidempiä kuin yöt. Tälle välille laskettuna esimerkiksi 45° kulmaan asennetussa aurinkopaneelirivistössä, joissa paneelin mitat ovat 1,5 m \* 1,0 m ja tavoitteellinen tuotanto olisi klo 9–15, rivien väliseksi etäisyydeksi tulisi 2,04 metriä. Kattopinta-alasta noin kolmannekselle sopisi paneeliasennus. Jos tarkoituksena on saada suuri kesätuotto, aikaikkunaa ja kulmaa pienentämällä katon paneeliala voisi olla yli 50 %.

Harjakatoille asennettaessa paneelit tulevat mahdollisimman lähelle katon harjaa, jotta talvisin ei pääsisi kertymään raskasta lumipatjaa paneelien yläpuolelle. Kiinnitysjärjestelmät voivat olla yksi- tai kaksikerroksisia (kuvio 11). Erottavana tekijänä

ovat rakenteen jämäkkyys, tuuletusraon koko ja hinta. Yksikerroksisessa kiinnitysjärjestelmässä alumiinisia kiinnityskiskoja on useimmiten kaksi kappaletta ja ne ovat vaakasuoraan asennettuja. Kiskojen päälle aurinkopaneelit tulevat pystysuoraan. Katon ja paneelien väliin jäävä tuuletusrako on noin 150 mm. Paneelia kohden (1,5 m<sup>2</sup>) yksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä painaa noin kuusi kilogrammaa. (Aurinkopaneelien kiinnitysteline n.d.)



Kuvio 11. Yksi- ja kaksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä

Kaksikerroksisessa kiinnitysjärjestelmässä kiinnityskiskot tulevat vaakasuoraan ja niiden päälle asennetaan katon lappeen suuntaisesti parillinen määrä kiskoja joihin aurinkopaneelit kiinnitetään vaakasuoraan. Näin kiinnitys on vankempi ja kestää suurempia lumikuormia. Painoltaan kaksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä on noin kymmenen kilogrammaa paneeli kohden ja lisäkerros jättää isomman tuuletusraon (n. 200 mm). (Aurinkopaneelien kiinnitysteline. n.d)

Markkinoilla olevien piipohjaisten aurinkopaneelien paino on keskimäärin 12 kg/m<sup>2</sup>, joten aurinkosähköjärjestelmän asentaminen katolle lisää sen kuormaa paneelistä ja asennustavasta riippuen noin 16–19 kg/m<sup>2</sup>.



## 5 Kiinteistöjen tiedonkeruu

Opinnäytetyössä tehtävänä oli selvittää aurinkosähkön mahdollinen hyötykäyttö Jyväskylän Tilapalvelun hallinnoimille kiinteistöille. Työhön annettu kiinteistölistaus sisälsi 330 kohdetta, jotka ovat kouluja, päiväkoteja, terveysasemia, asuinrakennuksia ja vapaa-ajan palveluita tarjoavia kiinteistöjä sekä kiinteistöjen yhteydessä olevia muita rakennuksia. Rakennukset olivat eri-ikäisiä. Vanhimmat oli rakennettu 1860-luvulla ja uusimmat olivat juuri valmistuneita. Rakennusten kokoluokat vaihtelivat pienestä 10 m<sup>2</sup>:n varastorakennuksesta, suureen 20 000 m<sup>2</sup>:n urheiluhalliin, keskiarvon sijoituessa hieman alle 1 400 m<sup>2</sup>:iin.

Kiinteistölistauksen tietojen lisäksi tarvittiin tiedot rakennusten sopivuudesta aurinkopaneelien asentamiselle ja mittaukset katoista, joihin kuuluivat katon pinta-ala, lappeen suuntaus ja katon tyyppi.

Kohteiden tietojen keräämiseen käytettiin Jyväskylän karttapalvelun sivuilta löytyviä ilmakuvia ja asemakaavoja. Kiinteistölistalta osa kohteista jäi laskennan ulkopuolelle joko siksi, että rakennuksen laadusta ja sijainnista johtuen aurinkopaneelien asennus ei olisi kannattavaa tai asemakaavaa ei ollut saatavilla. Myös kohteet jotka oli suojeltuja tai muun muutoksen alla jäivät mitoittamatta. Näistä syistä johtuen 71 kohdetta jäi laskennan ulkopuolelle.

Muiden kiinteistöjen muotoa ja suuntaa arvioitiin aurinkopaneelijärjestelmälle tarpeellisilta osin. Katon muodosta kirjattiin, onko kyseessä harjakattoinen vai tasakattoinen rakennus. Osassa kohteista molemmat kattotyypit olivat sopivia paneelien sijoitukselle. Tätä tietoa käytettiin laskennassa kattokertoimen valintaan, jolla määritellään valitulle kattopinta-alalle mahtuva paneelipinta-ala.

Paneelien suuntaukselle tavoiteltiin lounas-kaakko-akselille osuvaa sivua, kun rakennuksen suuntausta mitattiin asemakaavakuvien avulla. Valintaan vaikutti ympäröivä kasvillisuus ja vieressä olevat korkeammat rakennukset. Mitoitussuunnan valitsemisen jälkeen jäljellä oleva asennukselle sopiva kattopinta-ala arvioitiin karttapalvelun mittaustyökalua hyödyntäen. Monitasoisilla kattorakenteilla pohjoispuolelle piiloon

jääviä alueita mitoitettiin mahdollisuuksien mukaan. Jos rakennuksen vierellä näkyi puu, niin sen taakse jäävä alue jätettiin mitoittamatta. Tasakattoisilla kohteilla ilmanvaihtolaitteet vähensivät käyttökelpoista kattopinta-alaa.

## 6 Aurinkosähköpotentiaalin laskenta

Aurinkosähköpotentiaalin laskentaan käytettiin PVGIS-aurinkosähkölaskuria, koska tarkempien suuntausarvojen käyttämisen takia tulosten oletettiin tarkentuvan. Heimosen, Kurnitskin & Kalliomäen (2011, 20–23) ohjeiden mukaisesti laskettuna vuosituotot olisivat olleet 0,7–1,1-kertaisia aurinkosähkölaskurin tuloksiin verrattuna. Tässä menetelmässä ilmansuunnille ja kallistukselle oli kummallekin kolme kerrointa ja säteilyvoimakkuus olisi ollut vakio. Opinnäytetyössä rakennusten suuntauksen ja paneeleille sopivan pinta-alan arvioinnin jälkeen tarvittavia tietoja alettiin syöttää kuviossa 12 näkyvään PVGIS-laskuriin.

The screenshot displays the PVGIS web application. The top navigation bar includes the JRC and CM SAF logos, and the title 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. The main interface is divided into a map area on the left and a configuration panel on the right. The map shows Jyväskylä, Finland, with a red pin at Vainonkatu 44. The configuration panel on the right is titled 'Performance of Grid-connected PV' and contains several sections: 'Radiation database' (Classic PVGIS), 'PV technology' (Crystalline silicon), 'Installed peak PV power' (1 kWp), 'Estimated system losses' (0%), 'Fixed mounting options' (Free-standing, Slope 45°, Azimuth -2°), 'Tracking options' (2-axis tracking), and 'Output options' (Show graphs, Show horizon, Web page, Text file, PDF). A 'Calculate' button is located at the bottom of the configuration panel.

Kuvio 12. PVGIS-aurinkosähkölaskuri vuosituottojen laskentaan (Performance of Grid-connected PV. 2012.)

**Sijainti:** Antamalla kohteen osoitteen tai maantieteelliset koordinaatit laskuri käyttää sijainnin perusteella tietokannasta haettavia alueellisia tilastoja säteilyvoimakkuudesta, lämpötilasta ja horisontin muodosta.

**Säteilytietokanta** (Radiation database): Suomessa on käytettävissä alkuperäinen säteilytietokanta, joka on koostettu vaakasuoralle pinnalle osuvan säteilyn kuukausikeskiarvoista kymmenen vuoden ajalta. Euroopassa alkuperäinen mittaus suoritettiin vuosina 1981–1990. Muualla Euroopassa olisi käytettävissä uudempi vuosina 1998–2005 kerätty CM-SAF-tietokanta, mutta se ei kattanut Suomen korkeusasteita. (Performance of Grid-connected PV. 2012.)

**Paneeliteknologia** (PV technology): Kaikille kohteille käytettiin asetusta Crystalline silicon, joten laskuri arvioi säteilyvoimakkuuden ja ympäristön lämpötilan vaikutukset tyypillisen yksikidepiipohjaisen aurinkopaneelin ominaisuuksien mukaan. Vaihtoehtoisia paneeleita olisivat ohutkalvokennot CIS ja CdTe puolijohdeilla tai joku muu paneeli, jolle laskenta arvioisi 8 %:n häviön lämpötilan vaikutuksista. (Mt)

**Asennetun järjestelmän teho** (Installed peak PV power): Katolle tulevan aurinkopaneelijärjestelmän teho laskettiin yhtälöllä 4 (mt):

$$P_{max} = A_k * K_{max} * k_k \quad (4)$$

missä

$P_{max}$  on aurinkopaneelien tuottama maksimi sähköteho referenssisäteilytilanteessa ( $I_{ref} = 1 \text{ kW}_p/\text{m}^2$ ) lämpötilassa  $25^\circ\text{C}$ ,  $\text{kW}_p$

$A_k$  on paneelien asennukselle sopiva pinta-ala,  $\text{m}^2$

$K_{max} = \eta_{std}$  on huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä,  $\text{kW}/\text{m}^2$

$k_k$  on kattotyyppin mukaan määräytyvä korjauskerroin

Harjakatoille oletettiin, että 80 % mitatusta pinta-alasta jäisi käyttökelpoiseksi, piipujen ja kulkuväylien viedessä osan tilasta. Tasakatoille noin kolmannes on käyttökelpoista alaa, jotta edessä oleva paneelirivistö ei aiheuta suuria varjostuksia.

Jos aurinkopaneelijärjestelmän koko on tiedossa, niin huipputeho voidaan laskea yhtälöllä 5 (Mt):

$$P_{max} = A_p * \eta_{std} \quad (5)$$

missä

$A_p$  on aurinkopaneelijärjestelmän pinta-ala, m<sup>2</sup>

$\eta_{std}$  on paneelin standardiolosuhteissa mitattu hyötysuhde, %

Todellisuudessa teho riippuu säteilyvoimakkuudesta ja paneelin hyötysuhteesta, joka tulee säteilyvoimakkuuden ja kennon lämpötilan  $T_m$  funktiosta. Ilman satunnaisia muuttujia paneeliteho lasketaan yhtälöllä 6 (mt):

$$P = \frac{I}{1000} * A_p * \eta(I, T_m) = \frac{I}{1000} * A_p * \eta_{std} * \eta_{tod}(I, T_m) \quad (6)$$

missä

$P$  on paneeleista saatava teho, kW

$I$  on säteilyvoimakkuus, W/m<sup>2</sup>

$T_m$  on kennon lämpötila, °C

$\eta_{tod}(I, T_m)$  on paneelikohtainen hyötysuhde säteilyvoimakkuuden ja kennon lämpötilan funktiosta, %

**Arvioidut häviöt järjestelmässä** (Estimated system losses): Arvioidut häviöt järjestelmässä ovat tehohäviöitä, jotka tapahtuvat siirrossa paneeleilta sähköverkkoon. Niihin lukeutuvat siirtohäviöt kaapeleissa, vaihtosuuntaajan hyötysuhde, lika ja lumi paneeleissa sekä muut vastaavat häviöiden aiheuttajat. Aurinkosähkölaskurissa oletuksena oleva 14 %:n häviö toimii hyvin alustavana valintana, ellei suunnitelmissa ole esimerkiksi korkean hyötysuhteen invertterin käyttäminen. (Mt.)

**Asennusasento** (Mounting position): Vaihtoehtoina ovat telineeseen asennettu (free-standing) tai suoraan rakennuksen rakenteisiin asennettu (building integrated). Näillä valinnoilla on laskennassa vaikutus paneelien lämpötilaan (yhtälö 7), mikä taas vaikuttaa paneelin hyötysuhteeseen. Jos ilmankierto on rajallista, paneelit voivat lämmitä huomattavasti, jopa  $15\text{ °C}$   $1000\text{ W/m}^2$  säteilyllä. (mt)

$$T_m = T_{ulk} + k_T * I \quad (7)$$

missä

$T_{ulk}$  on ulkolämpötila,  $^{\circ}\text{C}$

$k_T$  on asennusasennon korjauskerroin.

Telineeseen asennettu tarkoittaa, että ilma pääsee kiertämään vapaasti paneelien takana ja rakenteisiin asennettu sitä, että paneelien takana ei ole mahdollisuutta ilmankierrolle. Laskurissa telineeseen asennettu käyttää kerrointa  $k_T = 0,035\text{ °C} / \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

ja rakenteisiin asennettu kerrointa  $k_T = 0,05\text{ °C} / \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  (mt).

**Paneelien kulma** (Slope): Määritetään aurinkopaneeleille asennuskulma. Tasakatoille on käytetty  $45^{\circ}$ :n asennuskulmaa ja harjakatoille  $30^{\circ}$ :n kulmaa

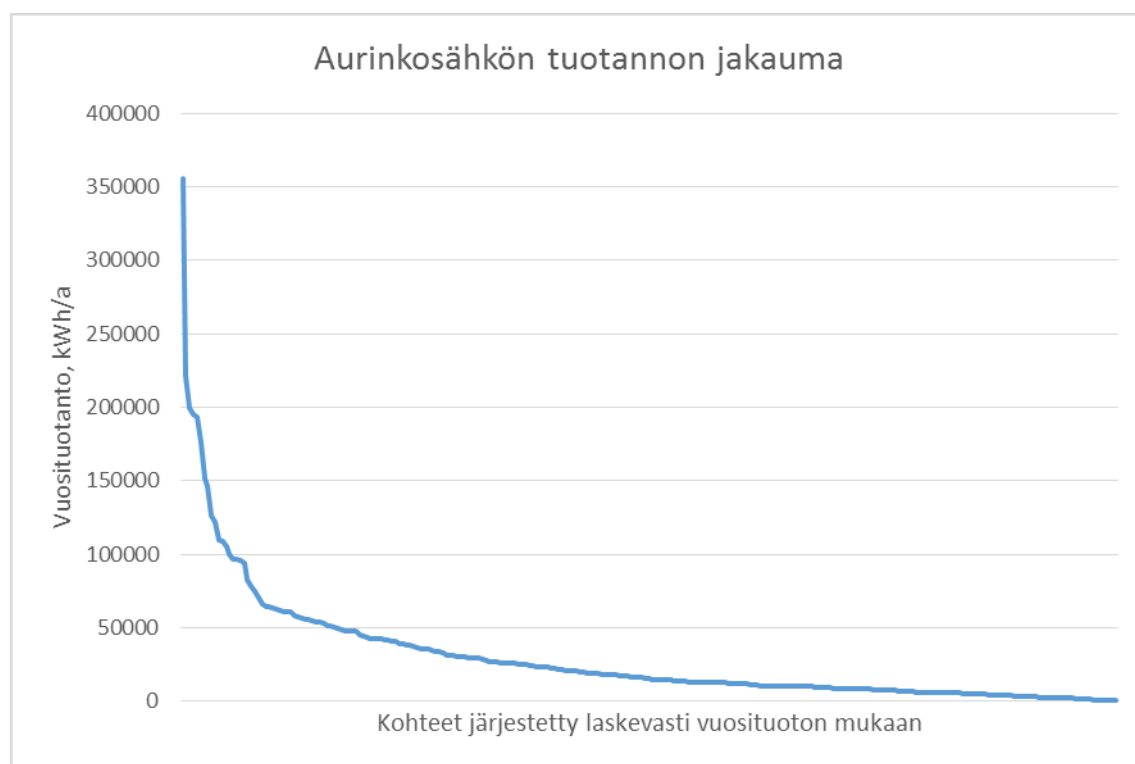
**Paneelien suuntaus** (Azimuth): Määrittää paneelien atsimuuttikulman. Esimerkiksi  $0^{\circ}$  on suoraan etelään suunnatulle paneelille ja itään suunnatulle  $-90^{\circ}$ .

## 7 Aurinkosähkön tuottoja

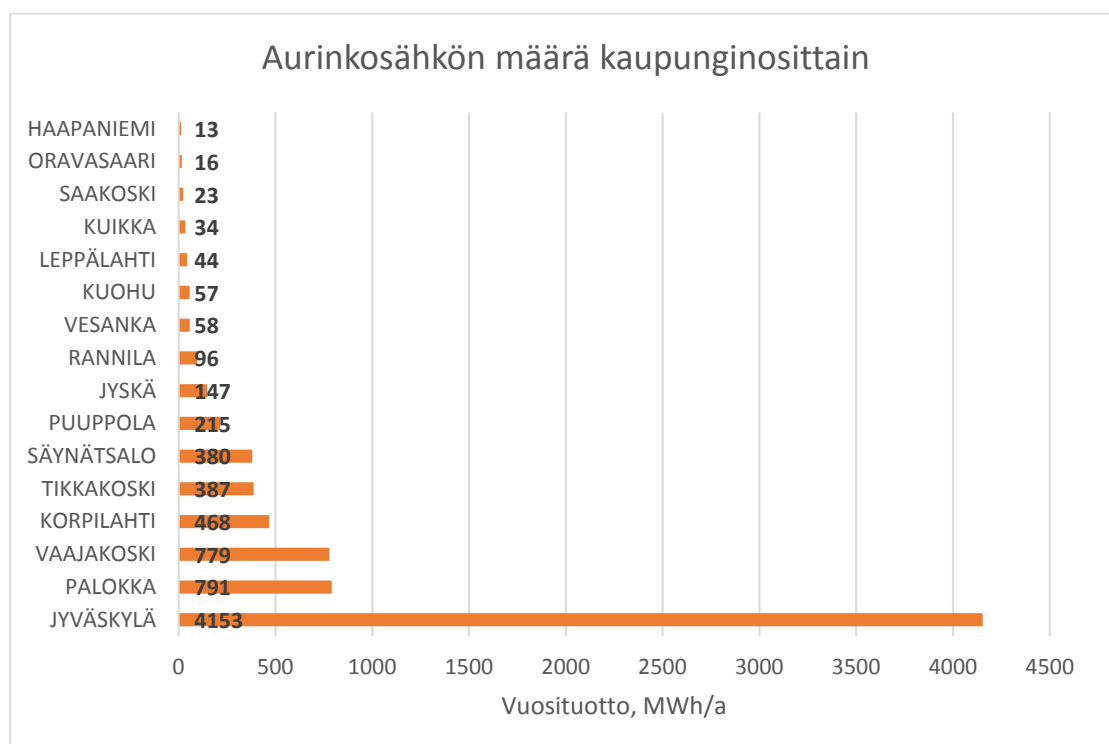
Opinnäytetyön tuloksissa on tarkasteltuna vuosituotannon jakautumista Jyväskylän eri osissa. Suurimpien vuosituoton antavien kohteiden joukosta valikoitui tarkempaan tarkasteluun kohteet, joiden sijainti oli avaralla alueella tai kohteella oli suhteessa korkea aurinkosähkön osuus kiinteistön sähkönkulutuksesta.

## 7.1 Yhteenveto

Liitteessä 1 on yhteenvetona Tilapalvelun kiinteistöjen vuosituotannon tulokset. Liitteestä ilmenee kiinteistöille lasketut paneelien suuntauskulmat, paneelijärjestelmien asennustehot sekä aurinkosähkön vuosituotto. Tuloksia tarkastellessa voidaan todeta että 78 % kaikista kohteista oli aurinkosähkölaitteiston laskennalle sopivia, joiden yhteenlaskettu vuosienenergia on 7,7 GWh. Kuviossa 13 on esitetty vuoden kokonaistuotannon potentiaali tarkastelluista kiinteistöistä. Suurin osa kiinteistöistä jää alle 63 000 kWh:n kokonaisenergian, mutta 10 % erottuu joukosta asennusteholtaan suurien paneelijärjestelmien takia. Paneelien tuottama kokonaisenergia on kiinteistöissä keskimäärin 29 800 kWh ja asennettua 1 kW<sub>p</sub> kohden sähköä tuotetaan noin 760 kWh atsimuuttikulman ollessa -0,4°. Kuviossa 14 ja voi tarkastella vuosituotannon määrää kaupunginosaan jaoteltuna. Siitä huomataan että kiinteistöjen lukumäärästä johtuen Jyväskylässä on moninkertainen aurinkosähkön potentiaali muihin kaupunginosiin verrattuna.



Kuvio 13. Aurinkosähkön vuosituotannon jakautuminen lasketuille kohteille, 259 kpl



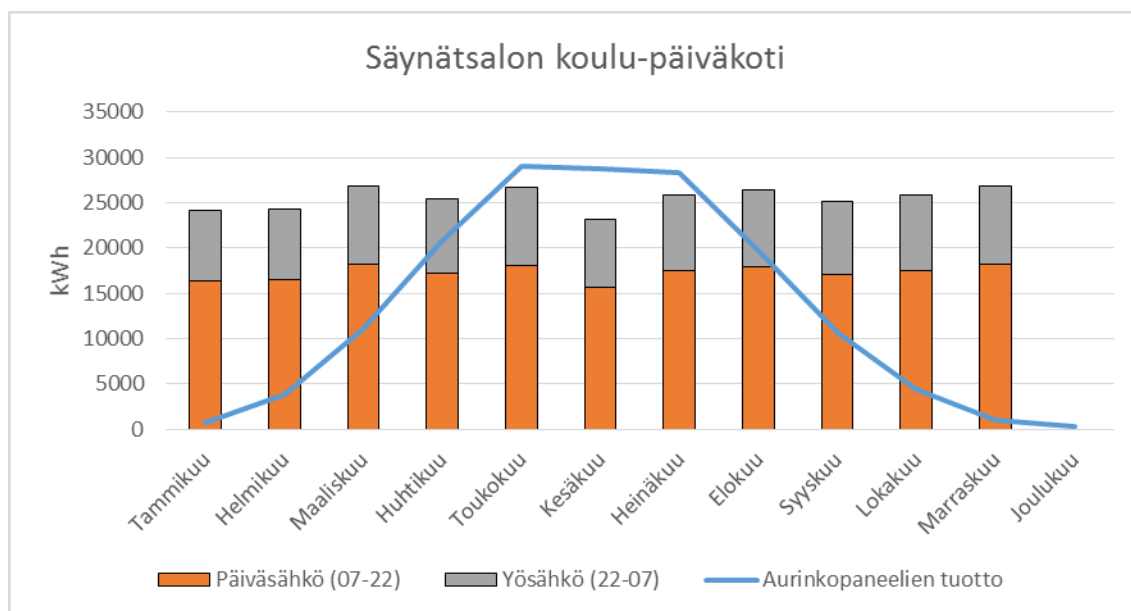
Kuvio 14. Vuosituoton jakautuminen kaupunginosittain

## 7.2 Säynätsalon koulu-päiväkoti

Säynätsalon koulu-päiväkoti kohde sijaitsee Päijänteen ympäröimällä Säynätsalon saarella. Säynätsalon koulu-päiväkoti on rakennettu vuonna 2010, ja lämmitys hoidetaan kaukolämmöllä. Korkean sijainnin ja vieressä olevan urheilukentän vuoksi aurinkosähkölaitteiston asentamiselle on hyvät edellytykset. Tehokkuuden suuri potentiaali menee hukkaan katon lappeen suunnan takia, koska se on länsisuuntainen. Näin ollen paneelien atsimuuttikulmiksi tulee  $95^\circ$  ja  $102^\circ$  ja kallistuskulmiksi  $30^\circ$ , joilla vuotuinen säteilymäärä jää 25 % pienemmäksi kuin eteläsuuntauksella.

Katolle mahtuvan paneelilaitteiston tehoa arvioitaessa laskenta antoi tulokseksi  $258 \text{ kW}_p$  vuoden kokonaistuotannon ollessa 158,6 MWh. Kun lukuja vertaa EnerKeyn vuoden 2014 vuosiraporttiin huomataan, että 52 % vuoden sähkönkulutuksesta saadaan katettua aurinkosähköllä. Kuukausittaisesta kuvaajasta kuviosta 15 huomataan, että touko-heinäkuun ajan aurinkosähkö riittäisi kattamaan koko sähkönkulutuksen.

Kun päiväkulutus on 68 % kokonaiskulutuksesta, aurinkosähköjärjestelmällä voitaisiin kattaa päiväkäytön kulutus huhtikuusta elokuuhun. Jos haettaisiin suurempaa vuosituottoa, paneelien kallistuskulman tulisi olla mahdollisimman pieni.

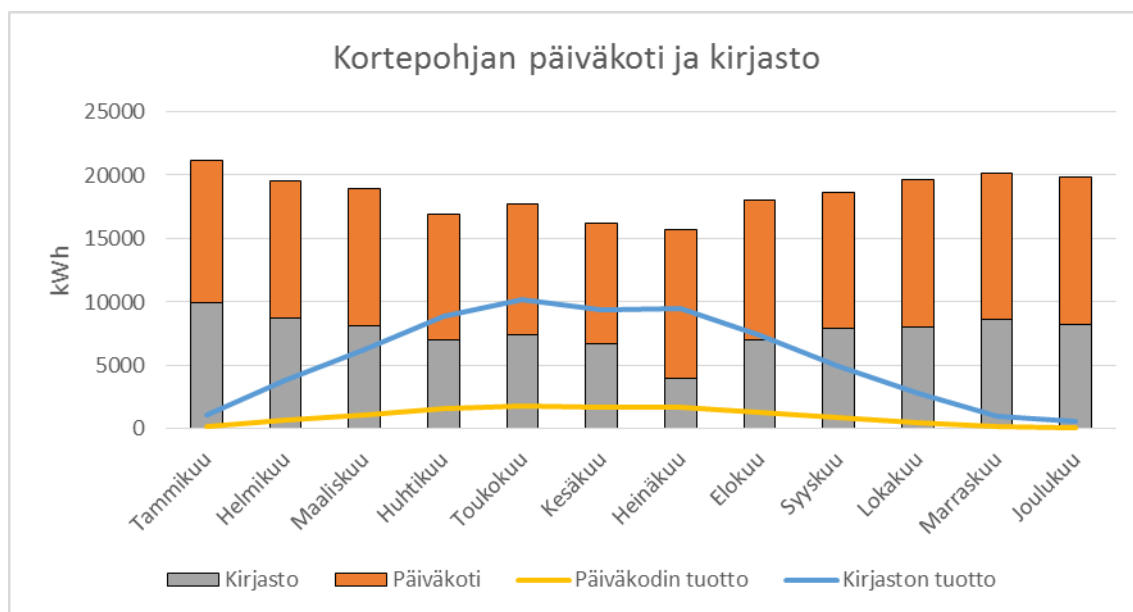


Kuvio 15. Säynätsalon koulu-päiväkodin kuukausikulutus ja aurinkosähkön arvioitu tuotto

### 7.3 Kortepohjan päiväkotia ja kirjasto

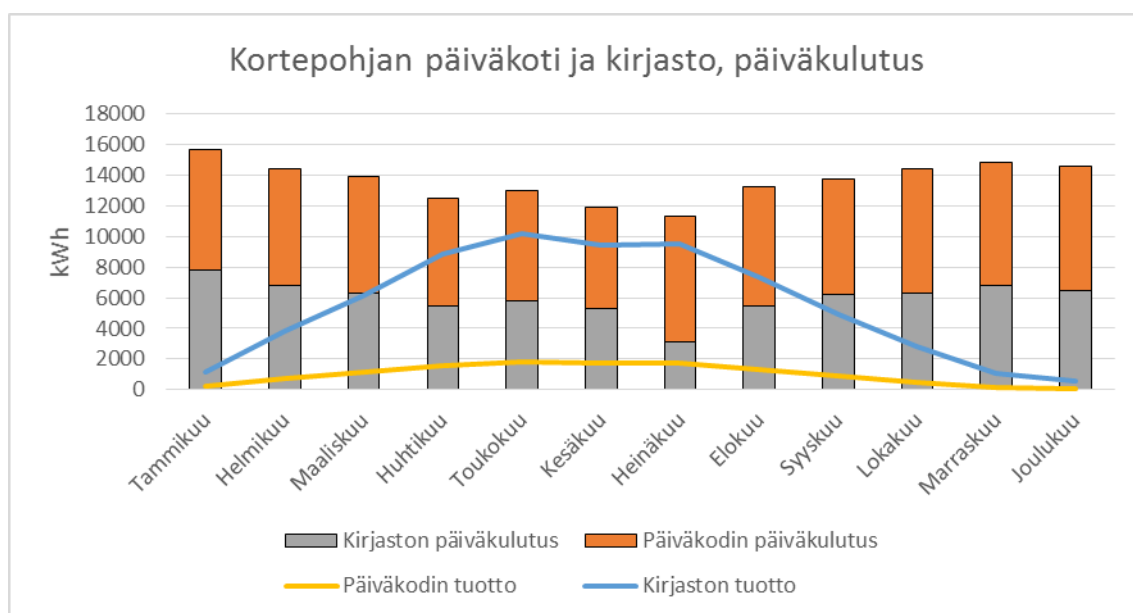
Kortepohjan päiväkotia ja kirjasto on rakennettu vuonna 1972, ja niiden lämmitysmuotona on kaukolämpö. Molemmat rakennukset ovat tasakattoisia, mutta päiväkodilla ilmanvaihtojärjestelmä vie paljon tilaa katon pinta-alasta. Tästä syystä sinne mahtuisi vain 15 kW<sub>p</sub>:n järjestelmä, kun taas kirjaston katolle sopisi 81 kW<sub>p</sub>:n paneelirivistö. Molempien aurinkopaneelijärjestelmien suuntausarvoina olisi, kallistuskulma 45° ja atsimuuttikulma -20°. Yhteenlaskettu vuosituotanto olisi 77,9 MWh. Kuviosta 16 voi todeta, että kirjastolla aurinkosähkö riittäisi kattamaan sähkönkulutuksen huhtikuusta elokuun loppuun. Päiväkodin paneelit tuottaisivat kesälläkin vain murto-osan sähköenergian tarpeesta.





Kuvio 16. Kortepohjan päiväkodin ja kirjaston kuukausikulutus sekä aurinkosähkön arvioitu tuotto

Kuvion 17 päiväkulutuksien mukaan kirjaston sähköenergian tarve tulisi katettua vain hieman laajemmalla ajanjaksolla. Tämä johtuu siitä että 78 % kokonaiskulutuksesta on päivisin (klo 7–22) tapahtuvaa. Päiväkodilla päiväsähkön osuus on 70 %, joka ei kuitenkaan paranna sähköenergian tarpeen kattamista. Jos haettaisiin parempaa vuosituottoa, optimikallistuskulma olisi muutaman asteen pienempi, vaikka se ei tuo huomattavaa eroa.

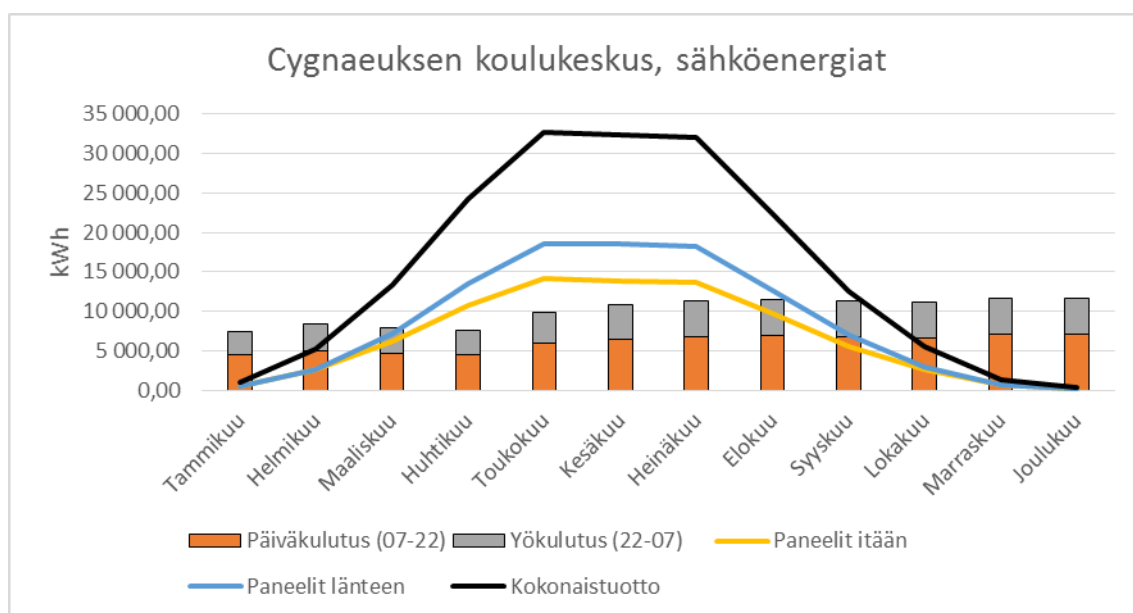


Kuvio 17. . Kortepohjan päiväkodin ja kirjaston kuukausittainen päiväkulutus (klo 7–22), sekä aurinkosähkön arvioitu tuotto

## 7.4 Cygnaeuksen koulukeskus

Jyväskylän Mäki-Matissa sijaitseva Cygnaeuksen koulukeskus on rakennettu vuonna 1972, ja sen lämmitysmuotona on kaukolämpö. Rakennuksen katto on yhdistelmä loivaa harjakattoa ja länteen laskevaa pulpettikaton viipaletta, joiden molemmille sivuille asennettuna mahtuisi 280 kW<sub>p</sub>:n aurinkosähköjärjestelmä. Paneelien atsimuuttikulmilla -81° ja 99° sekä kallistuskulmalla 30° laskettuna vuosituotoksi tulee 183,2 MWh. Täten huomataan, että aurinkosähkön tuotto ylittää noin 50 % kiinteistön nykyisen vuosikulutuksen.

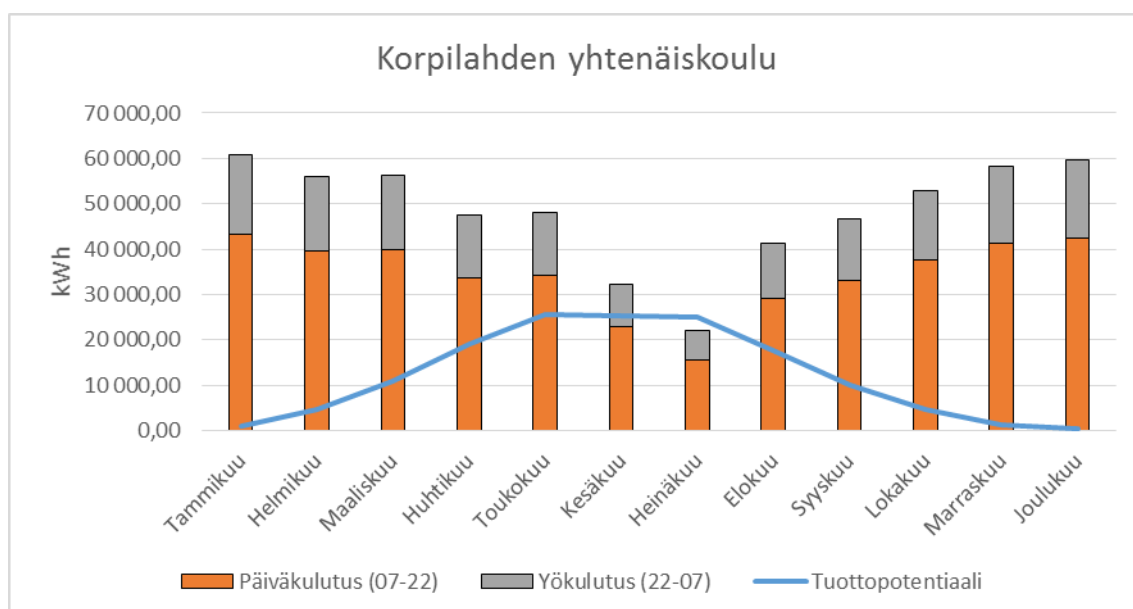
Koska tuottopotentiali ylittää selvästi vuosikulutuksen, kuviossa 18 sähköenergiat on jaoteltu päivä- ja yökulutuksiin sekä itään ja länteen suunnatuille paneeleille. Päiväkulutuksen osuuden ollessa 60 % kummankin suuntauksen paneelijärjestelmät katkaisivat tarpeen maaliskuusta elokuun loppuun. Sopivampaa mitoittusta arvioitaessa yhteisteholtaan 110 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmän asentaminen sopisi kesäkuukausien sähkön tarpeen täyttämiseen.



Kuvio 18. Cygnaeuksen koulukeskuksen tuottopotentiali jaoteltuna sähköenergian suuntauksien ja aikajaksojen mukaan

## 7.5 Korpilahden yhtenäiskoulu

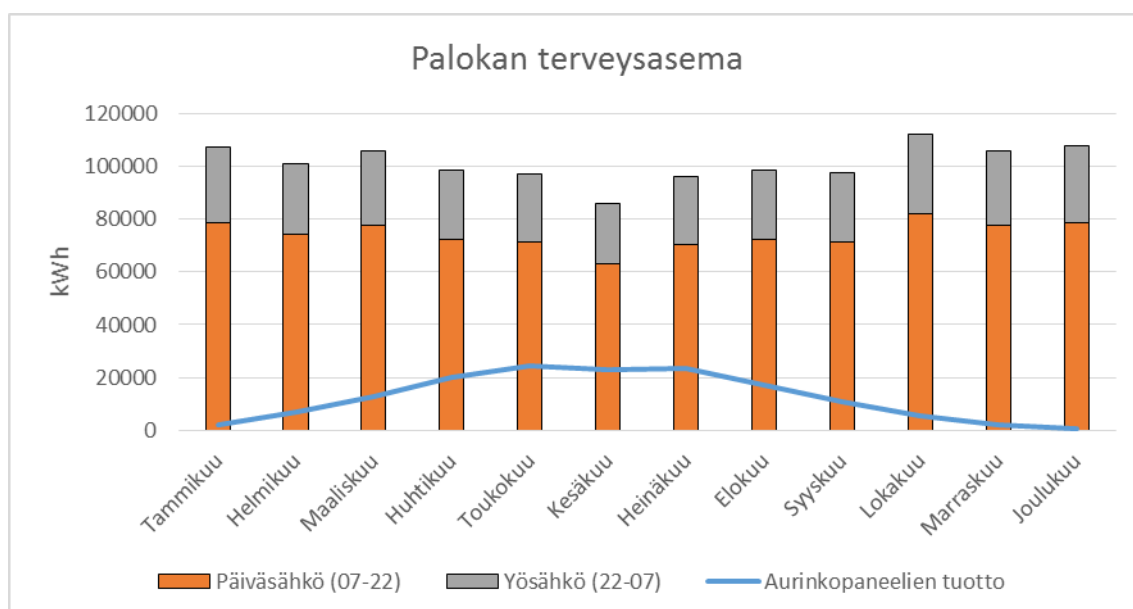
Korpilahden yhtenäiskoulu on rakennettu vuonna 2006 ja lämmitysmuotona on kaukolämpö. Kohteella on hyvin samanklaiset lähtökohdat Säynätsalon koulu-päiväkodin kanssa, kuten sijainti korkealla mäen päällä urheilukentän vierellä. Koulun katolle asennettu 165 kW<sub>p</sub>:n paneelijärjestelmä olisi suunnattuna 98° länteen ja urheiluhallin katolle vastaavasti 52 kW<sub>p</sub>:n paneelit -22° itään. Molemmilla olisi 30° kallistuskulma. Kuviosta 19 katsomalla todetaan, että 146 MWh vuosituotanto olisi 25 % vuoden kulutuksesta ja vain kesä-heinäkuussa saataisiin katettua päiväjakson sähkönkulutus. Koska koulukeskuksen paneelit tulisivat vain ilta-auringolle sopiviksi, niin parempaan säteilyvoimakkuuden saamiseen pääsisi mahdollisimman pienellä kallistuskulmalla.



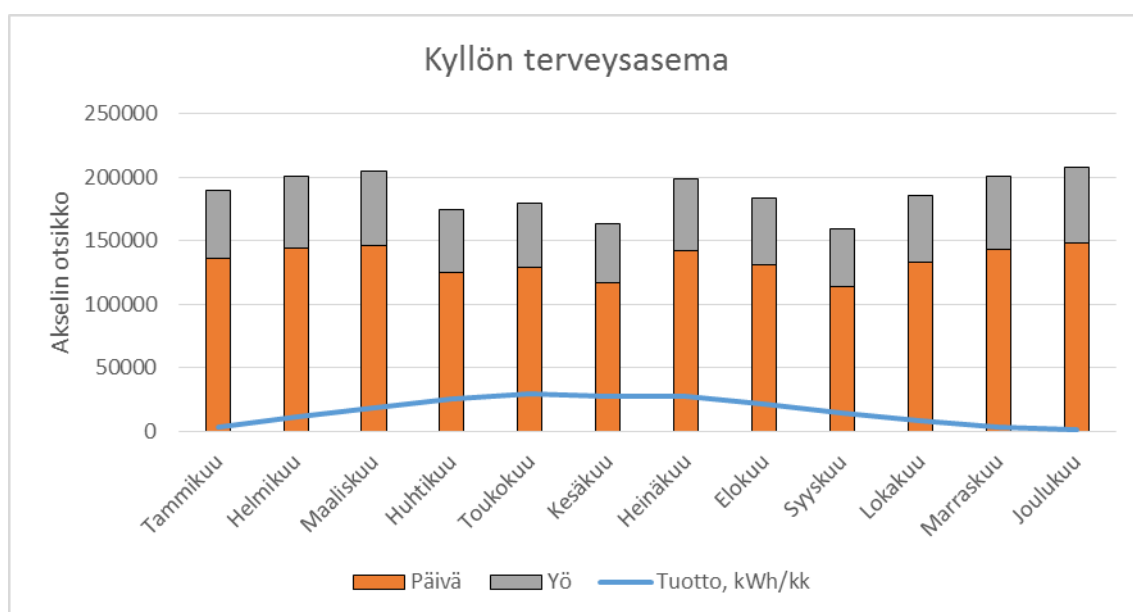
Kuvio 19. Korvilahden yhtenäiskoulun tuottopotentiali ja kuukausikulutukset

## 7.6 Palokan terveysasema ja Kyllön terveysasema

Terveysasemilla on suuri sähkönkulutus läpi vuoden, joten aurinkopaneeleilla saisi katettua vähäisen määrän siitä. Kyseiset terveysasemat ovat kaukolämpöisiä ja vuosina 1984 ja 1978 valmistuneita. Palokan terveysaseman tasakatolle sopisi 191,6 kW<sub>p</sub>:n tehoinen aurinkopaneelijärjestelmä -37° atsimuuttikulmalla ja 45° kallistuksella. Paneeleille vuoden kokonaisenergia olisi 151,4 MWh, joka vastaisi reilua vuoden 2014 kulutuksesta. Kesällä kolmannes päiväsähköstä tuotettaisiin auringon voimalla (kuvio 20). Kyllön terveysasema on myös tasakattoinen, joten myös sinne paneelit laskettiin 45° kallistuksella. Atsimuuttikulmana olisi ideaalinen -1° ja järjestelmän tehona 234,9 kW<sub>p</sub>, mutta 192,9 MWh aurinkoenergia olisi alle kymmenyksen kiinteistön sähkönkulutuksesta (kuvio 20).



Kuvio 20. Palokan terveysaseman sähköntuotto ja -kulutus



Kuvio 21. Kyllön terveysaseman sähköntuotto ja -kulutus

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja laskea Jyväskylän Tilapalvelun 330 kiinteistölle yleiskuva aurinkosähkön kokonaispotentialista sekä löytää suurimmat kohteet

aurinkosähkön tuottamiseen. Tavoitteet saavutettiin, sillä tuloksena on jokaisen kiinteistön arvion saaminen siitä, kuinka se sopii aurinkosähköjärjestelmälle. Kiinteistölistauksesta 259 kohdetta sai laskennassa tuloksen aurinkosähköntuotolle. Suurimman vuosituoton antavilla kohteilla saatiin havainnollistavaa näkemystä aurinkosähkön kuukausituottoja vertaamalla palvelurakennusten mitattuihin sähkönkulutuksiin.

Kiinteistöjen tietojen hankinnassa tuli useasti vastaan kohteita, mistä oli vaikea saada varmaa tietoa. Kuntarajan laidoilla olevat kohteet olivat joko Jyväskylän karttapalvelun asemakaavan ulkopuolella tai asemakaavan lisäksi käytössä oli huonolaatuinen ilmakehäkaton muotojen tunnistamiseksi. Listauksessa oli myös kohteita, joissa ilmakehäkuvat ja asemakaava eivät vastanneet toisiaan. Karttapalvelun lisäksi avustavina työkaluina olivat ohjelmistopohjainen astemittaus ja Googlen Earth Pro -palvelun luoma 3D-mallinnus kaupunkikuvasta.

Käytettävissä olevan materiaalin ja kohteiden suuren lukumäärän takia laskentaan oli tehtävä useita oletuksia. Aurinkopaneelien asentamiselle valittiin sopivat kallistuskulmat kattotyypeittäin. Katot olivat joko viiston lappeen omaavia tai tasakattoisia. Laskennallisesti rakennuskohtaiset todelliset kallistuskulmat voivat tehdä parin prosentin eroavaisuuden paneelien vastaanottamaan säteilyyn. Vuosittaisen säteilyvoimakkuuden määrään on kuitenkin atsimuuttikulman valinnalla suurempi vaikutus, joten se saatiin mitattua luotettavammin. Kattojen mitoitus tehdessä tavoitteena oli pysyä lounas-kaakko-suunnan sisällä, mutta monissa kohteissa suurempi osa asennukselle sopivaa kattopinta-alaa oli tämän suunnan ulkopuolella. Työssä oli kiinteistöjä, joille molemmat kattomuodot sopivat aurinkosähköasennukselle. Näille kiinteistöille laskettiin yhdistetty vuosituotto. Aurinkopaneeleille sopivalle pinta-alalle valittiin kerroin katon peittoasteelle, koska kulkureitit ja ilmanvaihtokanavat vaativat tilansa ja tasakatoilla edessä oleva paneelirivi luo vaatimuksensa asennusvälille. Valmiilla aurinkosähkölaskurilla laskettiin kohteelle paneelien tuottama kokonaisenergia. Käytetty laskentatyökalu hyödynsi annettuja sijainti- ja kulmatietoja kattavasti säteilytietokantansa kanssa antaen näin tarkemman vuosienergian.

Tarkemmin tarkastelluista kohteista Cygnaeuksen koulukeskus, Kortepohjan kirjasto ja Säynätsalon koulu-päiväkotitoivat hyvän potentiaalin aurinkosähkön tuottamiselle. Näillä kohteilla laskennallista tuotantoa olisi kesäkuukausina yli oman tarpeen. Terveysasemien kohdalla huomataan niiden suuren sähkönkulutuksen vaikutus. Aurinkosähkön osuus on vain pieni osa todellisesta kulutuksesta. Piikennoihin perustuvilla aurinkosähköjärjestelmillä päivänsähkön tarvetta ei saada katettua, vaikka katto täytettäisiin paneeleilla. Teknologioiden kehittyessä aurinkoenergia on hyvä vaihtoehto kiinteistöjen päivitysten yhteydessä.

Työn tulokset ovat alustavia laskelmia, jotka antavat suuntaa tuleville hankinnoille. Saatuja ominaistuottoarvoja voidaan käyttää apuna paneeleille sopivien kohteiden valinnassa. Tarkemmassa tarkastelussa kattojen kantavuus tulee rajaamaan katoille sopivan aurinkosähköjärjestelmän kokoa.

## Lähteet

Aurinkokeräimet. 2015. Artikkel. Motiva. Viitattu 7.12.2015. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeräimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeräimet).

Aurinkopaneelien asentaminen. 2014. Artikkel. Motiva. Viitattu 1.12.2015. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen).

Aurinkopaneelien kiinnitysteline. N.d. Artikkel. Aurinkovirta.fi-sivustolta. Viitattu 1.12.2015. <http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/aurinkopaneelien-kiinnitysteline/>.

Aurinkopaneelin toimintaperiaate. 2010. Sunteknon tietopaketti. Viitattu 1.12.2015. <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>.

Aurinkosähköteknologiat. 2014. Artikkel. Motiva. Viitattu 1.11.2015. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat).

Aurinkosähköteknologiat. N.d. Artikkel. Helsinki University of Technology. Viitattu 1.11.2015. <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>.

Berg, R. 2006. Solar panel. Kuva. Viitattu 25.11.2015. <http://www.freeimages.com/photo/solar-panels-1226199>.

Boe, R. 2007. Vakuumröhrenkollektor. Kuva. Viitattu 25.11.2015. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vakuumroehrenkollektor\\_01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vakuumroehrenkollektor_01.jpg).

Calculating tilted array spacing. N.d. Laskentaohje Affordable solar-sivustolta. Viitattu 7.12.2015. <http://www.affordable-solar.com/learning-center/building-a-system/calculating-tilted-array-spacing/>.



Grätzel, M. 2003. Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4, 2, 145 - 153. <https://janet.finna.fi/>, Elsevier ScienceDirect

Heimonen, I., Kurnitski, J. & Kalliomäki, P. 2011. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön- ja sähköenergiatuoton laskennan opas. VTT. Viitattu 7.12.2015. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma).

Huld T., Müller R. & Gambardella A. 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86, 1803-1815. Viitattu 1.12.2015. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>

Micallef N. 2006. Solar Panels. Kuva. <http://www.freeimages.com/photo/solar-panels-1569672>.

NOAA Solar Calculator. n.d. Earth System Research Laboratoryn työkalu auringon sijaintitietoihin. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>.

Performance of Grid-connected PV. 2012. European Commission, Joint Research Centre. Ohje laskurille. Viitattu 14.11.2015. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalchelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalchelp_en.html).

Photovoltaic barometer. 2015. Barometri. EurObser'ER. Viitattu 25.10.2015. [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/EurObservER-barojdpv13-Photovoltaic-Barometer-2015-EN.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/EurObservER-barojdpv13-Photovoltaic-Barometer-2015-EN.pdf).

Solar Energy Perspectives. 2011. Raportti. International Energy Agency. Viitattu 20.11.2015. [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar\\_energy\\_perspectives2011.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar_energy_perspectives2011.pdf).

Solar Panels, Santorini. 2013. Kuva. Wikimedia Commons. Viitattu 25.11.2015. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar\\_panels,\\_Santorini2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_panels,_Santorini2.jpg).

Sun Fact Sheet. 2015. Tiedote. NASA. Viitattu 20.10.2015.

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>.

Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. & Ossenbrink H.A. 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81, 1295–1305. Viitattu 25.11.2015. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Tyhjiöputkikeräimet. 2015. Artikkel. Motiva. 7.12.2015. [http://www.motiva.fi/toimi-alueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet](http://www.motiva.fi/toimi-alueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet).

Vuosiraportit. 2015. Sääaseman vuosiraportit. Sääasema Jyväskylä, Nenäinniemi. <http://www.jyv-weather.info/wxsolarkwhsummary.php>.

## Liitteet

Liite 1. Jyväskylän Tilapalvelun kiinteistöt: Kiinteistöjen vuosituotto, laskevassa järjestyksessä

Nimi	Rakennusvuosi	Kattotyppi	Kattokerroin	Kattokerroin toiselle alalle	Asimuurikulma [°]	Kattopinta-ala [m²]	Pinta-ala toisella kattoalalla [m²]	Ei laaketa	Paneelijärjestelmän teho kWp	Tolteen paneelijärjestelmän teho kWp	Vuotuotto kWh/kWp	Vuotuotto toiselle alalle kWh/kWp	Vuotuotto yhteensä, kWh/a
Hipposhalli	1992	kaari	80 %			-48 3630	0	0	464,64	0	764,54	0	355235,87
Palokan koulukeskus	2012	tasa	33 %			15 4622	0	0	244,04	0	817,86	0	199591,86
Vaajakummun koulu	2003	harja	80 %			-64 2119	0	0	271,23	0	719,82	0	195238,22
Kyllön terveysasema	1978	tasa	33 %			-1 4449	0	0	234,91	0	821,3	0	192929,28
Cygnauksen koulu-päiväkoti	1962	harja ja harja	80 %	80 %	-81 ja 99	924 1298	0	0	118,27	166	681,12	618,34	183290,91
Säynätsalon koulu-päiväkoti	2010	harja ja harja	80 %	80 %	102 ja 95	1756 264	0	0	224,77	33,8	610,6	632,96	158632,33
Palokan terveysasema	1984	tasa	33 %			-37 3629	0	0	191,61	0	790,34	0	151438,00
Korpilahden yhtenäiskoulu	2006	harja ja harja	80 %	80 %	98 ja -22	1291 406	0	0	165,25	52	629,52	808,4	146037,85
Luonetjärven peruskoulu	2004	harja	80 %			-19 1226	0	0	156,93	0	805,82	0	126455,72
Vaajakosken koulu	2011	tasa	33 %			10 2828	0	0	149,32	0	813,56	0	121479,48
Kilpisen koulu	1963	tasa	33 %			40 2673	0	0	141,13	0	776,58	0	109602,15
Kuokkalan koulu	1993	harja ja tasa	80 %	33 %	-12 ja -35	275 792	0	0	35,20	101	805,82	792,06	108660,74
Viitaniemen koulu	1962	tasa	33 %			1 2430	0	0	128,30	0	823,02	0	105596,76
Keltinmäen koulu	1977	tasa	33 %			24 2345	0	0	123,82	0	806,68	0	99879,89
Puistokoulu ja Päivärinteen päiväkoti	1912	harja ja tasa	80 %	33 %		-3 261 662,5	0	0	33,41	84,8	808,4	821,3	96653,27
Tikkalan koulu ja päiväkoti	2009	harja	80 %			25 940	0	0	120,32	0	798,94	0	96128,46
Jokelan koulu	2000	harja ja harja	80 %	80 %	42 ja -13	400 540	0	0	51,20	69,1	772,28	806,68	95298,46
Salmiranta, metalliala vanha osa	1965	harja	80 %			-35 935	0	0	119,68	0	781,74	0	93558,64
Halssilan koulu	1966	harja, pohjoiseen	80 %			178 1649	0	0	211,07	0	432,58	0	91305,53
Monitoimitalo	1979	tasa	33 %			42 2035	0	0	107,45	0	771,42	0	82887,54
Kortepohjan päiväkoti ja kirjasto	1972	tasa ja tasa	33 %	33 %		-20 280 1533	0	0	14,78	80,9	814,42	814,42	77961,49
Keljon vanhainkoti A-rak.	1975	tasa	33 %			25 1758	0	0	92,82	0	805,82	0	74798,15
Keljon vanhainkoti, B-rak.	1984	tasa	33 %			25 1662	0	0	87,75	0	805,82	0	70713,61
Lehtisaaren kuntotalo	1984	harja	80 %			-48 672	0	0	86,02	0	763,68	0	65688,70
Puuppolan hoivasairaala	1955	tasa	33 %			15 1482	0	0	78,25	0	817,86	0	63997,22
Mannilan päiväkoti	2012	harja ja harja	80 %	80 %	55 ja 85	433 266	0	0	55,42	34	744,76	663,06	63853,45
Lahjaharjun päiväkoti	1982	harja	80 %			-1 611	0	0	78,21	0	808,4	0	63223,35
Keskustan terveysasema	1984	tasa	33 %			5 1438	0	0	75,93	0	820,44	0	62293,06
Lohikosken koulu	1968	tasa ja harja	33 %	80 %		66 780 855	0	0	41,18	45,1	707,78	716,38	61489,47
Pohjanlammen koulu	1988	tasa ja tasa	33 %	33 %	-15 ja 35	988 437	0	0	52,17	23,1	816,14	789,48	60791,23
Koivulan päiväkoti	1980	harja	80 %			66 660	0	0	84,48	0	718,96	0	60737,74
Liinalammin päiväkoti-koulu	2013	harja	80 %		-26 ja 64	143 494	0	0	18,30	63,2	798,94	724,98	60465,73
Tikkakosken yläaste	1950	harja	80 %			49 596	0	0	76,29	0	760,24	0	57997,19
Halssilan päiväkoti	1985	harja ja harja	80 %	80 %	-21 ja 69	360 220	0	0	46,08	28,2	805,82	715,52	57281,23
Keljon koulu	1935	harja	80 %			35 561	0	0	71,81	0	782,6	0	56196,94
Salmiranta, metalliala uusi osa	1974	tasa	33 %			-35 1340	0	0	70,75	0	788,62	0	55796,44
Kotalammen päiväkoti	1981	harja ja harja	80 %	80 %	22 ja -68	306 265	0	0	39,17	33,9	798,08	718,96	55646,32
Kotimäen päiväkoti	1984	harja	80 %			-87 641	0	0	82,05	0	662,2	0	54332,19
Kortepohjan koulu	1970	tasa	33 %			-19 1248	0	0	65,89	0	815,28	0	53722,39
Keljonkankaan koulu	1952	tasa	33 %			-35 1279	0	0	67,53	0	792,92	0	53546,84
Puuppolan koulu	2006	harja	80 %			7 511	0	0	65,41	0	809,26	0	52932,08
Pupuhuhdan koulu ja päiväkoti	1982	harja	80 %			-65 557	0	0	71,30	0	724,12	0	51626,86
Wessmanninmäen päiväkoti	2015	tasa	33 %			25 1201	0	0	63,41	0	804,1	0	50990,23
Tapiolan päiväkoti	1961	harja	80 %			-4 486	0	0	62,21	0	808,4	0	55288,95
Tammirinteen päiväkoti-koulu	2000	harja	80 %			-1 479	0	0	61,31	0	810,98	0	49722,81
Tikkakosken jäähalli	1996	tasa	33 %			-33 1156	0	0	61,04	0	799,8	0	48817,23
Jyskän koulu	1949	harja	80 %			-23 470	0	0	60,16	0	798,08	0	48012,49
Kuokkalan sos.- ja terveysasema	1990	tasa	33 %			20 1120	0	0	59,14	0	810,98	0	47958,11
Sepänkeskus	1930	harja	80 %			-85 560	0	0	71,68	0	667,36	0	47836,36
Mäki-Matin päiväkoti	1962	harja	80 %			44 486	0	0	62,21	0	764,54	0	47560,50
Pohjanlammen viipale (Koivula)	1992	tasa ja harja	33 %	80 %	-15 ja 33	707 354	0	0	37,33	18,7	816,14	792,92	45286,81
Vanhainkoti, Korpilahti	1936	harja	80 %			75 488	0	0	62,46	0	701,76	0	43834,74
Vaajakosken uimahalli	2006	tasa	33 %			33 1040	0	0	54,91	0	789,48	0	43351,93
Salmiranta, kokoelma- ja konservointikeskus, rakennus A	1994	tasa	33 %			-35 1029	0	0	54,33	0	788,62	0	42846,67
Pappilavuoren päiväkoti	2009	harja	80 %			41 430	0	0	55,04	0	775,72	0	42695,63
Keljonkankaan päiväkoti	2009	harja	80 %			-23 410	0	0	52,48	0	804,96	0	42244,30
Ritoniityn päiväkoti	1999	harja ja harja	80 %	80 %	0 ja -45	190 228	0	0	24,32	29,2	810,12	767,12	42089,75
Keski-Palokan liikuntahalli	2011	harja	80 %			0 406	0	0	51,97	0	806,68	0	41921,55
Ritoniityn palvelukoti	2001	harja	80 %			2 404	0	0	51,71	0	810,12	0	41892,93
Palokan liikuntahalli	2010	harja	80 %			7 396	0	0	50,69	0	809,26	0	41019,77
Kukkulan koulu	2012	harja	80 %			0 392	0	0	50,18	0	807,54	0	40519,13
Salmiranta, varastohalli	1980	harja	80 %			-35 390	0	0	49,92	0	781,74	0	39024,46
Kuokkalan päiväkoti	1989	harja	80 %			-60 413	0	0	52,86	0	737,02	0	38961,83
Vaajakosken liikuntahalli	1984	tasa	33 %			28 912	0	0	48,15	0	799,8	0	38513,25
Vaajakosken päiväkoti	1965	harja	80 %			-65 414	0	0	52,99	0	724,12	0	38372,57
Kangasvuoren päiväkoti	1970	harja	80 %			-23 360	0	0	46,08	0	804,1	0	37052,93
Keski-Palokan koulu	1956	harja	80 %			93 442	0	0	56,58	0	636,4	0	36004,97
Pohjanlammen päiväkoti	1989	harja ja harja	80 %	80 %	17 ja -73	210 156	0	0	26,88	20	801,52	702,62	35574,77
Vesangan koulu + päiväkoti	2008	harja	80 %			52 364	0	0	46,59	0	758,52	0	35340,96
Salmiranta, liikuntahalli	1980	harja	80 %			-35 351	0	0	44,93	0	781,74	0	35122,01
Kypärämäen liikuntatila	1988	harja	80 %			22 340	0	0	43,52	0	798,94	0	34769,87
Nenänniemitalo	1993	harja	80 %			-52 352	0	0	45,06	0	754,22	0	33982,14
Palokan Urheilukeskus	1983	harja	80 %			31 336	0	0	43,01	0	787,76	0	33879,98
Tikkakosken Liikuntahalli	1997	tasa	33 %			49 812	0	0	42,87	0	763,68	0	32741,71
Kivelän päiväkoti	1998	harja	80 %			-30 308	0	0	39,42	0	791,2	0	31192,27
Palokan nuorisokoti	2001	harja	80 %			-78 352	0	0	45,06	0	689,72	0	31076,02
Päihdehuollon tilat	2003	tasa	33 %			-1 709	0	0	37,44	0	821,3	0	30745,53
Kortepohjan koulu liik.tilat	1982	tasa	33 %			-19 710	0	0	37,49	0	815,28	0	30563,22
Keltinmäen päiväkoti	2014	tasa	33 %			-66 800	0	0	42,24	0	723,26	0	30550,50
Haukkamäen päiväkoti	1988	harja	80 %			-3 292	0	0	37,38	0	809,26	0	30246,90
Korteson kartano, navetta	1936	harja	80 %			43 301	0	0	38,53	0	769,7	0	29655,00
Nisulan päiväkoti	1991	harja	80 %			-45 300	0	0	38,40	0	769,7	0	29556,48
Ristikiven päiväkoti	1987	harja	80 %			83 340	0	0	43,52	0	669,08	0	29118,36

Korpilahden toimintakeskus	1990 harja	80 %	54	301	0	0	38,53	0	755,08	0	29091,72
Cygnaeuksen vanha koulu	1925 harja	80 %	9	273	0	0	34,94	0	806,68	0	28188,63
Janakan koulu	2009 harja	80 %	-115	384	0	0	49,15	0	571,04	0	28067,76
Linnan päiväkot	1990 harja	80 %	90	328	0	0	41,98	0	643,28	0	27007,47
Akseli ja Elina-koti	1993 harja	80 %	-20	262	0	0	33,54	0	802,38	0	26908,62
Keltinmäen kirjasto-nuorisotalo	1983 harja	80 %	24	260	0	0	33,28	0	797,22	0	26531,48
Halssila, puistorakennus	1983 harja	80 %	22	256	0	0	32,77	0	799,8	0	26207,85
Vaajakosken terveysasema	1970 tasa	33 %	28	618	0	0	32,63	0	799,8	0	26097,79
Salmiranta, ruokala	1986 tasa	33 %	-35	624	0	0	32,95	0	788,62	0	25982,82
Korpilahden puukoulu	1886 harja ja harja	80 % 80 % -35 ja 60	132	132	0	0	16,90	16,9	793,78	740,46	25922,52
Nyrölä koulu	1933 harja	80 %	55	266	0	0	34,05	0	750,78	0	25562,56
Koulunmäen lämpökeskus	2005 harja	80 %	-21	242	0	0	30,98	0	809,26	0	25067,64
Kolu Kalliomäki	1938 harja	80 %	15	241	0	0	30,85	0	805,82	0	24857,94
Pikkutikka	1954 harja	80 %	47	252	0	0	32,26	0	764,54	0	24661,00
Lyseo, uusi osa	1959 harja	80 %	38	243	0	0	31,10	0	774,86	0	24101,25
Lehtisaaren koulukeskus, Rakennus B	1964 harja	80 %	41	240	0	0	30,72	0	774	0	23777,28
Saarenmaan koulu liikuntarakennus	1995 harja	80 %	70	259	0	0	33,15	0	712,08	0	23606,88
Vaajakosken kirjasto	1987 tasa	33 %	28	559	0	0	29,52	0	799,8	0	23606,26
Harjukoti, kehitysvamm. asuntola	1992 harja	80 %	-65	252	0	0	32,26	0	717,24	0	23135,29
Kypärämäen koulu	1951 harja	80 %	22	225	0	0	28,80	0	800,66	0	23059,01
Honkaharjun päiväkot	1977 tasa	33 %	0	527	0	0	27,83	0	817	0	22733,52
Halssilan kirjasto ja iltapäiväkot	1966 tasa	33 %	-2	506	0	0	26,72	0	823,88	0	22011,44
Aittorinteen päiväkot	1992 harja	80 %	70	238	0	0	30,46	0	712,08	0	21692,81
Liekkilä	1880 harja	80 %	-2	210	0	0	26,88	0	806,68	0	21683,56
Jokelan päiväkot	1982 harja	80 %	55	217	0	0	27,78	0	744,76	0	20686,45
Keltinmäen päiväkeskus	1980 harja	80 %	22	202	0	0	25,86	0	799,8	0	20679,63
Salmiranta, kokoeima- ja konservointikeskus, rakennus B	1994 tasa	33 %	-35	496	0	0	26,19	0	788,62	0	20653,01
Saakosken koulu	1955 harja	80 %	15	196	0	0	25,09	0	816,14	0	20475,32
Ahokoti	1992 harja	80 %	-42	198	0	0	25,34	0	778,3	0	19725,24
Korpilahden päiväkotiviipale	2011 harja	80 %	-50	198	0	0	25,34	0	768,84	0	19485,48
Lehtisaaren koulukeskus, Rakennus A	1950 tasa	33 %	41	468	0	0	24,71	0	779,16	0	19253,36
Kramsunkatu 5, päärakennus	1915 harja	80 %	-67,5	208	0	0	26,62	0	719,82	0	19164,49
Sallaajärvi, asuntola A ja B	1985 harja	80 %	-82	216	0	0	27,65	0	678,54	0	18760,27
Kartanonkujan päiväkot	1981 tasa	33 %	-20	432	0	0	22,81	0	814,42	0	18576,59
Hurtin koulu, Koulu	1929 harja	80 %	-35	180	0	0	23,04	0	791,2	0	18229,25
Väinölä päiväkot-koulu	2004 harja	80 %	-75	203	0	0	25,98	0	699,18	0	18167,49
Liinalammen päiväkot	1992 harja	80 %	6	175	0	0	22,40	0	810,98	0	18165,95
Taikalampun päiväkot	1989 harja	80 %	35	179	0	0	22,91	0	782,6	0	17930,93
Tikkakosken päiväkot	1973 harja	80 %	3	170	0	0	21,76	0	811,84	0	17665,64
Salmiranta, rantarakennus	1979 tasa	33 %	-35	416	0	0	21,96	0	788,62	0	17321,88
Pitkäkatu 25, Mäkitupa	1920 harja	80 %	3	164	0	0	20,99	0	805,82	0	16915,77
Väinönkadun palvelukeskus	1972 tasa	33 %	-2	387	0	0	20,43	0	821,3	0	16782,12
Lounaispuiston laululava	1954 harja	80 %	-47	170	0	0	21,76	0	761,1	0	16561,54
Kuuhon koulu, vanha koulu	1927 harja	80 %	2	156	0	0	19,97	0	814,42	0	16262,34
Sivutasku	1998 harja	80 %	-4	154	0	0	19,71	0	808,4	0	15935,18
Suvmäen klubitalo	1901 harja	80 %	-25	156	0	0	19,97	0	797,22	0	15918,89
Vesangan liikuntarakennus	1969 harja	80 %	52	161	0	0	20,61	0	758,52	0	15631,58
Ympäristöhygienian laitos	1990 tasa	33 %	44	380	0	0	20,06	0	770,56	0	15460,52
Asmalammen päiväkot	1988 harja	80 %	-10	144	0	0	18,43	0	810,12	0	14932,13
Iltatähti	1976 tasa	33 %	11	345	0	0	18,22	0	819,58	0	14929,47
Kypärätie 37	1973 tasa	33 %	11	345	0	0	18,22	0	819,58	0	14929,47
Ristonmaan päiväkot	1989 harja	80 %	8	144	0	0	18,43	0	807,54	0	14884,58
Palokan urheilukeskus tekn.tilat	1983 harja	80 %	97	180	0	0	23,04	0	627,8	0	14464,51
Vanhapappila, Kulttuurikeskus	1928 harja	80 %	3	136	0	0	17,41	0	817	0	14222,34
Viitaniemi, puistorakennus	1979 tasa	33 %	49	350	0	0	18,48	0	760,24	0	14049,24
Vaajakosken entinen kirjasto	1951 harja	80 %	23	138	0	0	17,66	0	793,78	0	14021,33
Ritorinne, kehitysvamm.asuntola	1988 harja	80 %	-37	138	0	0	17,66	0	782,6	0	13823,85
Könnkölä, päärakennus	1950 harja	80 %	-11	129	0	0	16,51	0	809,26	0	13362,50
Nuorisokoti Lotilanmutka	1985 harja	80 %	-60	140	0	0	17,92	0	737,88	0	13222,81
Korpirinne, Sairaala	1940 harja	80 %	25	128	0	0	16,38	0	803,24	0	13160,28
Saarenmaan koulu	1921 harja	80 %	0	126	0	0	16,13	0	814,42	0	13134,97
Vespuolen koulu	1954 harja	80 %	7	125	0	0	16,00	0	810,12	0	12961,92
Muuratsalon koulu ja päiväkot	1957 harja	80 %	-20	126	0	0	16,13	0	802,38	0	12940,78
Kotalampi, puistorakennus	1981 harja	80 %	-115	175	0	0	22,40	0	577,06	0	12926,14
Lehtisaaren ent. pesula	1953 harja	80 %	-85	150	0	0	19,20	0	669,94	0	12862,85
Hovilan nuorisokoti	2012 harja	80 %	11	125	0	0	16,00	0	801,52	0	12824,32
Steiner päiväkot	1946 harja	80 %	-56	133	0	0	17,02	0	742,18	0	12634,87
Haapaniemen päiväkot-koulu	2001 harja	80 %	34	126	0	0	16,13	0	782,6	0	12621,77
Steiner päiväkot, Palokka	1998 harja	80 %	-75	140	0	0	17,92	0	699,18	0	12529,31
Leppälahden leirikeskus	1931 harja	80 %	100	156	0	0	19,97	0	617,48	0	12329,84
Heinämäen kuntoutuskoti	1989 harja	80 %	-76	138	0	0	17,66	0	694,88	0	12274,36
Korpilahti, Paja/talli	1950 harja	80 %	75	135	0	0	17,28	0	701,76	0	12126,41
Tikan koulu	1950 harja	80 %	35	117	0	0	14,98	0	782,6	0	11720,22
Päivärinteen päiväkot	1920 harja	80 %	-18	114	0	0	14,59	0	799,8	0	11670,68
Neulaskankaan päiväkot	1989 harja	80 %	11	112	0	0	14,34	0	810,12	0	11613,88
Teletalo, Entinen teletila	1977 tasa	33 %	-8	261	0	0	13,78	0	828,18	0	11412,98
Kuuhon Paloasema	1968 harja	80 %	-2	109	0	0	13,95	0	814,42	0	11362,79
Myllyjärven lastenkoti	1979 harja	80 %	-18	105	0	0	13,44	0	807,54	0	10853,34
Kultaniityn päiväkot	1986 harja	80 %	-11	100	0	0	12,80	0	815,28	0	10435,58
Kramsunkatu 1, Päärakennus	1910 harja	80 %	21	102	0	0	13,06	0	798,94	0	10430,96
Peltola, Asuntola	1990 harja	80 %	66	112	0	0	14,34	0	725,84	0	10405,64
Lehtisaaren koulukeskus, Rakennus C	1953 harja	80 %	41	105	0	0	13,44	0	774	0	10402,56
Tähtiniemi, Edustustila	1902 harja	80 %	25	100	0	0	12,80	0	804,1	0	10292,48
Kuuhon koulun asuinrakennus	1954 harja	80 %	-75	114	0	0	14,59	0	700,04	0	10214,98
Leppälahden leirikeskus urheiluhalli	1955 harja	80 %	49	105	0	0	13,44	0	758,52	0	10194,51
Cygnaeuksenkatu 2, makasiinirakennus	1890 harja	80 %	45	104	0	0	13,31	0	763,68	0	10166,11
Leppälahden kaupakiinteistö	1961 harja	80 %	-75	114	0	0	14,59	0	696,6	0	10164,79
Kirrin päiväkot	1997 harja	80 %	30	101	0	0	12,93	0	786,04	0	10161,93
Asemamiehen talo	1914 harja	80 %	-32	102	0	0	13,06	0	774,86	0	10116,57
Säynätsalon asukastalo	1999 harja	80 %	-65	108	0	0	13,82	0	725,84	0	10034,01
Gummersenkatu 2	1900 harja	80 %	-47	102	0	0	13,06	0	763,68	0	9970,61
Vanhainkodin navetta	1939 harja	80 %	73	110	0	0	14,08	0	707,78	0	9965,54
Hippoksen liik.puisto / Koneh.rak.	1970 tasa	33 %	42	240	0	0	12,67	0	774,86	0	9819,03
Janakan päiväkot	2009 harja	80 %	27	96	0	0	12,29	0	794,64	0	9764,54
Yrttisuon perhepuisto, puistorakennus	1985 harja	80 %	50	100	0	0	12,80	0	755,94	0	9676,03
Niittykumpu, Asuntola	1994 harja	80 %	-33	90	0	0	11,52	0	797,22	0	9183,97

Kolu navetta	1911 harja	80 %	-77	102	0	0	13,06	0	694,02	0	9061,13
Kuohun viipalekoulu	2003 tasa	33 %	12	207	0	0	10,93	0	823,88	0	9004,68
Kolu vanha päärakennus	1922 harja	80 %	-17	85	0	0	10,88	0	804,96	0	8757,96
Saarenmaan koulun asuinrak.	1959 harja	80 %	0	84	0	0	10,75	0	814,42	0	8756,64
Oravasaaren koulu	1929 harja	80 %	19	85	0	0	10,88	0	801,52	0	8720,54
Kramsumkatu 5, talousrakennus	1915 harja	80 %	-67,5	93	0	0	11,90	0	719,82	0	8568,74
Kotipesän päiväkot	1988 harja	80 %	50	88	0	0	11,26	0	755,94	0	8514,91
Satama, Teatterirakennus	1938 harja	80 %	64	90	0	0	11,52	0	730,14	0	8411,21
Nyrölään koulun talousrakennus	1933 harja	80 %	57	88	0	0	11,26	0	746,48	0	8408,35
Halssilan pesula	1951 harja	80 %	38	84	0	0	10,75	0	776,58	0	8349,79
Kuohun koulu	1986 harja	80 %	-70	90	0	0	11,52	0	714,66	0	8232,88
Vanhapappila, Renkitupa	1928 harja	80 %	-86	95	0	0	12,16	0	668,22	0	8125,56
Vaajakosken urheilukentän varasto	1977 tasa	33 %	28	180	0	0	9,50	0	799,8	0	7601,30
Vanhapappila, Varasto-aitta	1928 harja	80 %	5	72	0	0	9,22	0	816,14	0	7521,55
Salmiranta, toimisto	1986 tasa	33 %	-35	176	0	0	9,29	0	788,62	0	7328,49
Könniön uimaranta, pukusuoja + käymälä	1969 harja	80 %	28	72	0	0	9,22	0	792,92	0	7307,55
Kolu tilanhoitajan asuinrakennus	1928 harja	80 %	-17	70	0	0	8,96	0	804,96	0	7212,44
Keltinmäen keidas	1972 harja	80 %	-20	70	0	0	8,96	0	804,1	0	7204,74
Vesilinna	1953 tasa	33 %	41	176	0	0	9,29	0	774,86	0	7200,62
Kumppanuustalo	1954 harja	80 %	-40	70	0	0	8,96	0	777,44	0	6965,86
Huhtasuo, puistorakennus	1978 harja	80 %	-55	72	0	0	9,22	0	754,22	0	6950,89
Tuomiojärven uimaranta, pukusuoja + kioski	1948 harja	80 %	-40	68	0	0	8,70	0	778,3	0	6774,32
Oravasaaren koulun talousrakennus	1929 harja	80 %	19	66	0	0	8,45	0	801,52	0	6771,24
Kotikartano	1996 harja	80 %	-55	66	0	0	8,45	0	746,48	0	6306,26
Lohikoski, puistorakennus	1975 tasa	33 %	0	144	0	0	7,60	0	821,3	0	6244,51
Vesangan koulun lisäluokat	1958 harja	80 %	52	64	0	0	8,19	0	758,52	0	6213,80
Vanhainkoti, Aitta/asunto	1940 harja	80 %	75	69	0	0	8,83	0	701,76	0	6197,94
Hurtittian koulu, As.rak ja keittola	1929 harja	80 %	-23	60	0	0	7,68	0	805,82	0	6188,70
Haapalahti navetta	1950 harja	80 %	-13	60	0	0	7,68	0	803,24	0	6168,88
Mattilan perhekoti	1981 harja	80 %	27	60	0	0	7,68	0	789,48	0	6063,21
Vaajakosken vanha terv.talo	1949 harja	80 %	28	60	0	0	7,68	0	789,48	0	6063,21
Könnkölä, uusi sauna	1976 harja	80 %	-48	60	0	0	7,68	0	765,4	0	5878,27
Kultalakin päiväkot	1988 tasa	33 %	23,5	133	0	0	7,02	0	808,4	0	5676,91
Leppälahden Paloasema	1957 harja	80 %	12	55	0	0	7,04	0	804,96	0	5666,92
Mäki-Matin perhepuisto, Kahvila Maija	1920 harja	80 %	24	54	0	0	6,91	0	792,06	0	5474,72
Kortesuson kartano, päärakennus	1940 harja	80 %	50	56	0	0	7,17	0	756,8	0	5424,74
Sallaajärven, ruokala C	1977 harja	80 %	8	52	0	0	6,66	0	814,42	0	5420,78
Kramsumkatu 5, as.rak	1915 harja	80 %	22,5	52	0	0	6,66	0	796,36	0	5300,57
Vaajakosken urheilukentän huoltorakennus	2007 tasa	33 %	26	121	0	0	6,39	0	802,38	0	5126,25
Keskustan sosiaalilasema	1979 tasa	33 %	3	109	0	0	5,76	0	820,44	0	4721,80
Kuparisepän talo	1960 harja	80 %	-45	48	0	0	6,14	0	767,12	0	4713,19
Sparvinin talo	1861 harja	80 %	45	48	0	0	6,14	0	763,68	0	4692,05
Pupuhuhta, puistorakennus	1981 harja	80 %	27	45	0	0	5,76	0	797,22	0	4591,99
Hallintokorttelin väestönsuoja	1987 tasa	33 %	-47	112	0	0	5,91	0	767,98	0	4541,53
Mäki-Matin perhepuisto, Pikku-Matti	1900 harja	80 %	-65	48	0	0	6,14	0	724,12	0	4448,99
Keltinmäen koulu, as.rak	1977 harja	80 %	40	44	0	0	5,63	0	774,86	0	4364,01
Säynätsalon paloasema	1993 harja	80 %	-22	42	0	0	5,38	0	799,8	0	4299,72
Leppälahden kaupakiinteistö var. + jätekaatos	1961 harja	80 %	-75	48	0	0	6,14	0	696,6	0	4279,91
Leppälahden leirikeskus, mökki E2	2003 harja	80 %	-70	47	0	x	6,02	0	711,22	0	4278,70
Tähtiniemi, Rantasauna	2002 harja	80 %	-25	40	0	0	5,12	0	809,26	0	4143,41
Pitkäkatu 25, Päiväkot	1920 harja	80 %	91	48	0	0	6,14	0	638,12	0	3920,61
Könnkölä, museorakennus	1982 harja	80 %	-11	36	0	0	4,61	0	809,26	0	3729,07
Pupuhuhdan koulu asuinrak.	1982 harja	80 %	-70	40	0	0	5,12	0	710,36	0	3637,04
Palokan urheilukeskus, varasto	2009 harja	80 %	97	44	0	0	5,63	0	627,8	0	3535,77
Kortesuson kartano, asuinrakennus	1934 harja	80 %	-54	36	0	0	4,61	0	748,2	0	3447,71
Paloaseman varasto 2	1925 harja	80 %	57	36	0	0	4,61	0	738,74	0	3404,11
Lounaispuiston kioski	1955 harja	80 %	45	32	0	0	4,10	0	764,54	0	3131,56
Haapalahti päärakennus	1945 harja	80 %	-2	30	0	0	3,84	0	806,68	0	3097,65
Asemamiehen talon ulkorakennus 1	1918 harja	80 %	60	33	0	0	4,22	0	731,86	0	3091,38
Satama, Kaarikattorakennus	1958 kaari	80 %	64	30	0	0	3,84	0	722,4	0	2774,02
Saakosken koulu, talousrakennus	1955 harja	80 %	-70	30	0	0	3,84	0	719,82	0	2764,11
Sallaajärvi, sauna	1975 harja	80 %	8	25	0	0	3,20	0	814,42	0	2606,14
Vespuolen koulu, ulkorakennus	1960 harja	80 %	7	25	0	0	3,20	0	810,12	0	2592,38
Haapalahti, sauna	1997 harja	80 %	30	24	0	0	3,07	0	786,04	0	2414,71
Kuntala	1917 harja	80 %	-35	24	0	0	3,07	0	785,18	0	2412,07
Puistotori, puistorakennus	1982 harja	80 %	45	24	0	0	3,07	0	763,68	0	2346,02
Sallaajärvi, työtila	1945 harja	80 %	8	22,5	0	0	2,88	0	814,42	0	2345,53
Ritoniityn päiväkot, varasto	1999 harja	80 %	-122	31,5	0	0	4,03	0	542,66	0	2188,01
Kramsumkatu 1, As.rak	1920 harja	80 %	-75	24	0	0	3,07	0	699,18	0	2147,88
Kuohun Paloaseman vaja	1978 tasa	33 %	-2	42	0	0	2,22	0	825,6	0	1830,85
Puusepän verstaas	1960 harja	80 %	45	18	0	0	2,30	0	763,68	0	1759,52
Leppälahden leirikeskus, mökki E1	2003 harja	80 %	16	17	0	x	2,18	0	803,24	0	1747,85
Vellamonpuisto, puistorakennus	1980 harja	80 %	-1	16	0	0	2,05	0	810,98	0	1660,89
Leppälahden leirikeskus sauna	1997 harja	80 %	16	16	0	x	2,05	0	803,24	0	1645,04
Saarenmaan koulu kentän huoltorak.	1995 harja	80 %	-2	14	0	0	1,79	0	814,42	0	1459,44
Leppälahden leirikeskus, mökki D1	2003 harja	80 %	16	13	0	x	1,66	0	803,24	0	1336,59
Leppälahden leirikeskus, mökki D3	2003 harja	80 %	16	13	0	x	1,66	0	803,24	0	1336,59
Könnkölä, naisten sauna	1950 harja	80 %	-18	12	0	0	1,54	0	804,96	0	1236,42
Leppälahden leirikeskus käymälä	1954 harja	80 %	-70	13	0	x	1,66	0	711,22	0	1183,47
Leppälahden leirikeskus, mökki D2	2003 harja	80 %	-70	13	0	x	1,66	0	711,22	0	1183,47
Leppälahden leirikeskus, mökki D4	2003 harja	80 %	-70	13	0	x	1,66	0	711,22	0	1183,47
Leppälahden Paloaseman varasto	1956 harja	80 %	10	10	0	0	1,28	0	805,82	0	1031,45
Lehtisaaren liik.puisto huoltorakennus	1960 harja	80 %	-45	10	0	0	1,28	0	768,84	0	984,12
Pupuhuhta, varastorakennus	1982 harja	80 %	27	9	0	0	1,15	0	797,22	0	918,40
Haapaniemen pvk:n varasto	2002 harja	80 %	35	9	0	0	1,15	0	780,88	0	899,57
Oravasaaren koulun sauna	1929 harja	80 %	19	8	0	0	1,02	0	801,52	0	820,76
Kolu jätevedenpuhdistamo	1971 tasa	33 %	-77	21	0	0	1,11	0	679,4	0	753,32
Vesangan koulun leikkimökki	2003 harja	80 %	-45	4,5	0	0	0,58	0	777,44	0	447,81
Tikan ja Aarresaaren päiväkodit	1983 harja	80 %	-1	0	0	x	0,00	0	809,26	0	0,00
Mansikkakuja, puistorakennus	1985	0 80 %	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00
Puistokoulun kentän huoltorakennus	2014	0	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00
Mattilan leirikeskus	1895	0 80 %	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00
Lyseo, vanha osa	1902	0 33 %	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00
Alvar Aalto Museo	1973	0 80 %	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00
Kaupunginkirjasto	1980	0	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00
K-S MUSEO	1960	0 80 %	0	0	0	x	0,00	0	0	0	0,00



Heiskan talo	1912	0	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Survo, Korpela	1900	0	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Pienmäki, talomuseo	1900	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Pienmäki, talomuseon muut rakennukset	1900	0	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Koskenharju, puistorakennus	1952	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Uimahalli	1955	0 80 %	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Mämmeniemi saunatupa + muut rak.	1980	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kotasen leirialue	1966	0 80 %	-60	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kaupungintalo	1897	0 80 %	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Rakentajantalo	1978	0 80 %	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Teatteritalo	1982	0	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Tietotalo	1971	0	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Pitkäkatu 25, talouskellari	1920	0	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Pohjavesilaitos	1910	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kuokkalan Graniitti	1993 maanalainen	80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Valtiontalo	1929	0 33 %	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Aallon koetalo	1952	0 80 %	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Könkkölä, luhtiaitta	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Könkkölä, ent. vilja-aitta	1900	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Könkkölä, työkaluvaja	1950	0 33 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Asemamiehen talon ulkorakennus 2	1918	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Haapalahti aitta	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Haapalahti kellari	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Haapalahti lato	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Haapalahti riihi	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Haapalahti sikala+katos	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Jääskelä, Kappeli	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Jääskelä, metsästäysmaja	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Klapumyly	1920	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kolu puuliiteri	1930	0 33 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kolu vedenottamo	1968	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kolu, Kalliomäki / kanala	1995	0	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kolu, Kalliomäki / Kasvihuone	1995	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kolu, Kalliomäki / kota	1995	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Leppälahden leirikeskus talousrak.	1931	0	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Liinalammin koulun lisärak.	1987	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Liinalammin koulu vanha koulurak	1936	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Tervatehtaan lato	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Tikkakosken monitoimitalon huoltorak.	1981	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Työläiskotimuseo	1900	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Vaajakosken aseman varasto	1989	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Vaajakosken paloaseman varasto	1930	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Vanhan Woimalan WC	1997	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kolu kellari	0	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Heinämäen kuntoutuskoti varasto	1989	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Kuohun koulun jätev.puh.	1966	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Saarenmaan koulun jv.puhd.	1974	0	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Vesangan koulun jv.puhd.	1968	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Nojosniemi, veneväestämön rakennukset	1951	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Säynätsalon kunnantalo	1952	0 80 %	0	0	0 X	0,00	0	0	0	0,00
Leirikallio	1953	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Säynätsalon urheilukenttä, huoltorak.	1950	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Korpilahti, keskusvarasto	1989	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Tähtiniemi, Aitta, Riihi	1902	0 80 %	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00
Tähtiniemi / Tähtelä	1926	0	0	0	0 x	0,00	0	0	0	0,00